

Der Aufbau vom einfachen Wechselstromelement bis zum Kettenglied.

Von Dr. J. Kilga in Oberschützen (Burgenland).

A. Schaltelemente und Meßinstrumente.

Um die im folgenden niedergelegten Ergebnisse experimentell bestätigen zu können, braucht man einige verlässliche Meßinstrumente, für die Untersuchung der im letzten Abschnitt angegebenen Hochfrequenz-Bandfilter einen Hilfsoszillator, eine große eisenlose Selbstinduktion mit mehreren im Radiohandel wohlfeil erhältlichen größeren Blockkondensatoren nebst Ohmschen Widerständen.

Die bei meinen Versuchen benutzte Selbstinduktion (die direkt an das 220-Voltnetz angeschlossen werden kann, ohne befürchten zu müssen, daß eine dem Windungsmaterial schädliche Stromstärke durch die Spule fließt) habe ich mir selbst angefertigt. Die Maße des Spulenträgers sind in der Fig. 1 wiedergegeben. Der Spulenkörper ist aus Holz, ein zylinderförmiges Stück von 6,1 cm Durchmesser und 3,6 cm Länge. An den Zylinderstirnflächen wurden 2 dünne Kreisscheiben aus Sperrholz von 15 cm Durchmesser aufgeschraubt und auf den dadurch entstandenen Luftwickelraum 71 Lagen¹ mit durchschnittlich 77 Windungen rubinisolierter Kupferdraht vom Durchmesser 0,3 mm, im ganzen 5480 Windungen, aufgebracht. Der Spulenkörper erhielt eine zentrale Durchbohrung von 2 cm Durchmesser. Die Dimensionen der Spule wurden derart gewählt, daß die zu erwartende Selbstinduktion ein Maximum bei kleinstem Kupferaufwand wird. Dies ist der Fall, wenn der Durchmesser der Spule viermal so groß ist wie ihre Länge oder die radiale Dicke der Wicklung².



Fig. 1. Querschnitt durch den Spulenträger der selbstgefertigten Selbstinduktion.

Der Gleichstromwiderstand der Spule ergab durch Messung 230 Ohm. Am 220-Volt-Wechselspannungsnetz zeigte ein Amperemeter (Mathermeter) 0,345 A an. Daraus ergibt sich: $L = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{U^2}{I^2} - R^2} = 1,89$ Henry; daher ist der aus $\tan \varphi = \frac{L\omega}{R}$ folgende Phasenwinkel $68^\circ 30'$. Die Berechnung der Selbstinduktion nach der Formel von KORNDÖRFER, $L = 10,5 N^2 \cdot D \sqrt{\frac{D}{U}}$ cm, lieferte bei Benutzung der an der Spule vorhandenen Größen $L = 2,67$ Henry. Jedenfalls dürfte dieser Wert etwas zu groß sein, da durch die Papierstreifen die reinen Vorbedingungen für die mathematische Erfassung nicht bestehen blieben. Der Phasenwinkel der Spule wurde am Röhrenphasometer (siehe unten) zu 62° erhalten. Die Spule, die eine Abzapfung bei der 3500. Windung bekam, kann zum Nachweise der Magnetoinduktion und des LENZschen Gesetzes im Unterrichte mit Vorteil angewendet werden, weil auch weniger empfindliche Galvano-

¹ Die Spule wurde handgewickelt und dazu eine primitive Vorrichtung, ein Haltegestell für die auf ein zylindrisches Holzstück aufgesteckte Spule mit einem Kurbelantrieb, benutzt. Durch Einlegen eines Papierstreifens über jede aufgebraute Lage ist es leicht, Windung an Windung zu bekommen.

² Genauer: Handbuch der Physik von H. GEIGER und K. SCHEEL, Bd. XVI; Kap. 18: K. GIEBE, Kondensatoren und Induktivitätsspulen, S. 489, Berlin 1927, J. Springer.

meter, die z. B. bei Vollausschlag etwa 15 mA benötigen, für diese grundlegenden Versuche ein Hochschaukeln des Zeigers mit einer magnetisierten Stricknadel, deren Polstärke ungefähr 50 Einheiten betrug, erreichen lassen.

Zur Verfügung standen mir folgende Meßinstrumente:

1. Mavometer mit verschiedenen Vorwiderständen und Nebenschlüssen; 2. Maveco-Zusatzinstrument zur Messung von Wechselspannungen; 3. Mathermeter, Meßbereich bis 750 mA für Gleich- und Wechselstrommessung; 4. Kleininstrument, mA 0,5, mit Nebenschlüssen für 2 bzw. 5 mA, Type Proton; diese 4 Instrumente stammen von der Firma Gossen. Das sehr billige Instrument 4. wurde in das noch folgende Instrument 5. eingebaut und lieferte sehr zufriedenstellende Ergebnisse. Die Fehlergrenze wird von der Erzeugerfirma auf $\pm 2\%$ angegeben. 5. Röhrenphasometer zur Messung der verschiedenen Phasenwinkel. Für das Gerät 5., dessen Theorie und Gebrauch nachstehend entwickelt ist, habe ich mir die Schutzrechte beim österr. Patentamt gesichert. Die Schaltung ist in Fig. 2 gegeben.

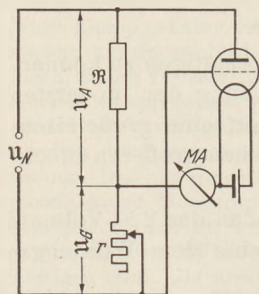


Fig. 2. Schaltung des Röhrenphasometers.

Der Emissionsstrom ist als Funktion der Gitter- wie Anodenspannung in der Formel von SCHOTTKY und LANGMUIR festgelegt, nämlich:

$$i = k(U_G + DU_A)^{\frac{3}{2}}. \quad (1a)$$

k Konstante, U_G Gitterspannung, U_A Anodenspannung, D Durchgriff der Röhre.

Die Steuerspannung $U_G + DU_A$, deren Wert > 0 sein muß, damit es zu einem Elektronenstrom kommt (die Austrittsgeschwindigkeit der Elektronen soll unberücksichtigt bleiben), wird für den Fall, daß U_G bzw. U_A harmonische Zeitfunktionen sind, zeitweise auch < 0 werden, so daß es Zeiträume gibt, während welcher die Emission gesperrt ist. In diesem Falle wird der Emissionsstrom zwar auch durch die angelegten Spannungen bestimmt, aber die Konstante in der Emissionsformel wird eine andere Größe haben, so daß der Emissionsstrom durch die Formel

$$i = k_1(u_G + Du_A)^{\frac{3}{2}} \quad (1b)$$

festgelegt ist.

Die Größe, die die Emission bestimmt, ist die Steuerscheitelspannung $u_G + Du_A$. Sind u_G und u_A gleichphasig, so bestimmen sie einen maximalen, durch sie bestimmten Emissionsstrom. Sind u_G und u_A gegenphasig, so kann durch die Wahl $|u_G| = |Du_A|$ die Steuerspannung und damit die Emission auf den Wert Null gebracht werden. Sind u_G und u_A um einen Winkel, der im Intervall der beiden Möglichkeiten liegt, in der Phase verschieden, so muß dieser Phasenunterschied auch in der Emission zum Ausdruck kommen. Um die Emission durch zwei gegenphasige Spannungen auf den Wert Null zu bringen, schaltet man an Stelle des mit R in Fig. 2 bezeichneten Schaltelementes einen Ohmschen Widerstand, z. B. eine Glühlampe. In Reihe mit R liegt ein regulierbarer Hilfswiderstand r in der Größenordnung 30 bis 50 Ohm (Radioheizwiderstand, der $\frac{1}{4}$ A verträgt). Die Spannungen an R und r werden als Gitter- und Anodenspannung der Röhre mit kleinem Durchgriff (ich verwendete die Philips B 438) aufgedrückt. Die Spannungen liegen laut Schaltung gegenphasig an der Röhre. Durch Drehung des Widerstandes r läßt sich der Emissionsstrom auf Null bringen; ein hochohmiges Voltmeter (Maveco), mit dem man u_G und u_A bzw. deren effektive Werte mißt, die zum Emissionsstrom Null gehören, gibt durch diese Meßwerte die Möglichkeit, den Durchgriff zu berechnen, der sich mit der Angabe der Röhrenfirma deckt. Wird an Stelle von R ein Widerstand mit induktivem oder kapazitivem Charakter geschaltet, so führt der im Hilfswiderstand r fließende Strom dieselbe Phase wie der in R , und somit besitzt u_G die Phase des Stromes, während u_A , d. i. die in der Phase abweichende, den Strom in R verursachende Spannung als Anodenspannung der Röhre angelegt wird. Der

durch diese Spannungen verursachte Emissionsstrom (1b) wird durch Einsetzen von

$$\left. \begin{aligned} u_G &= U_G \sin(\omega t + \pi \pm \varphi) \\ u_A &= U_A \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad (1c)$$

(wo U_G, U_A die Scheitelwerte bedeuten)

$$i = k_1 [U_G \sin(\omega t + \pi \pm \varphi) + D U_A \sin \omega t]^{\frac{3}{2}}.$$

Die Umformung des Ausdruckes in der eckigen Klammer ergibt

$$i = k_1 [\sqrt{D^2 U_A^2 - 2 D U_A U_G \cos \varphi + U_G^2}]^{\frac{3}{2}} \sin^{\frac{3}{2}}(\omega t \pm \varphi) \quad (1d)$$

mit

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_G \sin \varphi}{D U_A - U_G \cos \varphi}. \quad (1e)$$

Aus (1d) folgt, daß ein reeller Strom nur zustande kommt, wenn $0 < \sin^{\frac{3}{2}}(\omega t \pm \varphi) \leq +1$ ist, und daß der zustande kommende Strom von U_A, U_G und φ abhängt; denn der Scheitelwert der Stromstöße ist proportional dem Steuerspannungsscheitelwert

$$y = f(U_A, U_G, \varphi) = \sqrt{D^2 U_A^2 + U_G^2 - 2 U_G U_A \cos \varphi}. \quad (1f)$$

Die Steuerspannung besitzt bei festem U_A und gegebenem φ und alleiniger Abhängigkeit von U_G ein Minimum, das aus $y^2 = z$ und $\frac{dz}{dU_G} = -2 U_A D \cos \varphi + 2 U_G = 0$ für

$$U_G = D U_A \cos \varphi \quad (1g)$$

eintritt. Dieser Wert wird in (1f) eingeführt, so daß sich ergibt:

$$y = D U_A \sin \varphi. \quad (1h)$$

Dieses Ergebnis kann aber wieder so ausgedeutet werden, daß die Steuerspannungsscheitelwerte, die den Minimalgitterspannungen (1g) zugehören, in Abhängigkeit von φ als Einhüllende die $\sin \varphi$ -Kurve besitzen. Die Ergebnisse (1g) und (1h) zeigen den Weg, der den Phasenwinkel zu messen gestattet.

1. Der Emissionsstrom ist durch Drehung des Hilfswiderstandes r auf den Minimalwert einzustellen. Er wird im Milliampereometer MA (Fig. 2) angezeigt und ist

$$i_{\min} = k_1 (D U_A)^{\frac{3}{2}} \sin^{\frac{3}{2}} \varphi. \quad (1i)$$

2. Der Hilfswiderstand r wird ausgeschaltet, so daß $U_G = 0$ ist; der zugehörige Strom ist nach (1b)

$$i_{U_G=0} = k_1 (D U_A)^{\frac{3}{2}}. \quad (1j)$$

Aus (1i) und (1j) folgt durch Einsetzen

$$\sin^{\frac{3}{2}} \varphi = \frac{i_{\min}}{i_{U_G=0}}. \quad (1k)$$

Das Endergebnis (1k) ist nicht an die Anlegung einer bestimmten Anodenspannung gebunden, sondern lediglich durch die Höhe der Spannung begrenzt, die der Röhre noch zuträglich ist. Bei großer Genauigkeit ist zu berücksichtigen, daß U_A in (1j) mit der angelegten Spannung identisch ist, während in (1i) U_A nur ein Teil dieser Spannung ist, der aber praktisch, falls D — wie angegeben — z. B. nur 2 bis 3% beträgt, der angelegten Spannung gleich ist. Werden die Messungen an einem Netz mit fester Spannung z. B. 110 oder 220 Volt effektiver Wechselspannung ausgeführt, so steht kein Hindernis entgegen, das Milliampereometer in φ -Werten [nach (1k)] zu eichen.

In Fig. 3 ist die Schaltung des Röhrenphasometers zur Messung des Phasenwinkels in der oben beschriebenen Selbstinduktion gegeben. Der Winkel wurde zu 62° bestimmt, der in keinem auffallenden Mißverhältnis zu dem durch Strom-Spannungsmessung gefundenen steht. Das Ergebnis (2g) (siehe unten) mit der angenäherten Bedingung (2i) wurde in der Versuchsanordnung Fig. 4 mit den Werten $C = 5,5 \mu F$, $L = 1,89 H$ und der angelegten Spannung 92 Volt nachgeprüft. Es war $U_{L \text{ eff}} = 235 \text{ Volt}$, $U_{C \text{ eff}} = 210 \text{ Volt}$, der Strom $J_{\text{eff}} = 0,382 A$; der Phasenwinkel wurde mit dem Röhreninstrument zu 70°

gemessen. Das Ergebnis (2e) wurde an größeren Blockkondensatoren ($4 \mu\text{F}$) nachgemessen (Fig. 5). Der Phasenwinkel ergab sich zu 90° , so daß $R = 0$ ist. Kleinere Kondensatoren ($0,1 \mu\text{F}$) lieferten einen erkennbaren Verlustwinkel.

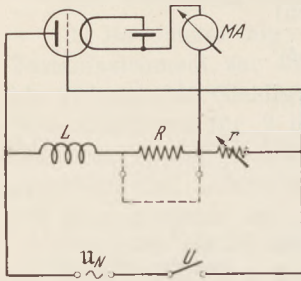


Fig. 3. Phasenwinkelbestimmung in einem aus L und R gebildeten Reihenkreis.

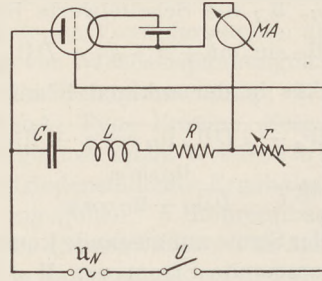


Fig. 4. Phasenwinkelbestimmung in einem aus L , C und R gebildeten Reihenkreis.

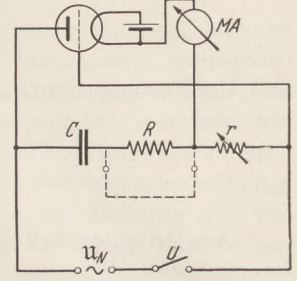


Fig. 5. Phasenwinkelbestimmung in einem aus C und R gebildeten Reihenkreis.

B. Reihenglieder an einer Wechselspannung.

Eine harmonische Wechselspannung mit dem Scheitelwert u und der Kreisfrequenz ω sei gegeben durch die Zeitfunktion

$$u = u \sin \omega t \quad \left(\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \right). \quad (2a)$$

Wird sie an einen Ohmschen Widerstand von der Größe R gelegt, so veranlaßt sie einen periodischen Strom derselben Frequenz mit der Zeitwertgröße

$$i_R = \frac{u}{R} \sin \omega t = \Im \sin \omega t. \quad (2b)$$

Der Scheitelwert ist durch $\Im = \frac{u}{R}$ dargestellt.

Besitzt der Stromkreis außer R noch Induktivität mit dem Werte L , so verursacht die angeschlossene Spannung den Wechselstrom

$$i_L = \frac{u}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}} \sin(\omega t - \varphi_L), \quad (2c)$$

mit dem Phasennachteilwinkel φ_L , der durch

$$\operatorname{tg} \varphi_L = \frac{L \omega}{R} \quad (2d)$$

bestimmt ist, während der Stromscheitelwert die Größe $\frac{u}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}}$ besitzt.

In einem Stromkreis, der den Ohmschen Widerstand R und eine Kapazität von der Größe C enthält, treibt (2a) den Wechselstrom

$$i_C = \frac{u}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2 \omega^2}}} \sin(\omega t + \varphi_C) \quad (2e)$$

mit dem Phasenvoreilwinkel φ_C , dessen Größe aus

$$\operatorname{tg} \varphi_C = \frac{1}{C \omega R} \quad (2f)$$

bestimmt ist. Der Stromscheitelwert beträgt $\frac{u}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2 \omega^2}}}$.

Sind alle drei Elemente, der Ohmsche Widerstand R , die Kapazität C und die Selbstinduktion L als Reihenglieder im Stromkreis zusammengefaßt, so bewirkt (2a) den Strom

$$i_{LCR} = \frac{u}{\sqrt{R^2 + \left(L \omega - \frac{1}{C \omega} \right)^2}} \sin(\omega t \pm \varphi_{LCR}) \quad (2g)$$

mit

$$\operatorname{tg} \varphi_{LCR} = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}. \quad (2h)$$

Der Stromscheitelwert in (2g), nämlich $\frac{u}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}$, erhält seinen größten

Wert für

$$L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0; \quad (2i)$$

der dazugehörige Phasenwinkel ist Null.

C. Der verzweigte Wechselstromkreis (Fig. 6, 6a).

Gemeinsam ist den beiden Zweigen die angelegte Spannung $u = u \sin \omega t$. Sie ist Ursache der beiden Zweigströme i_{L_1} und i_{L_2} , deren Phasenwinkel φ_1 und φ_2 seien.

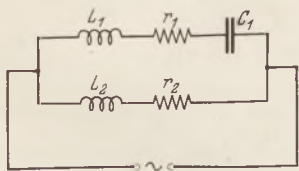


Fig. 6. Verzweigter Wechselstromkreis.

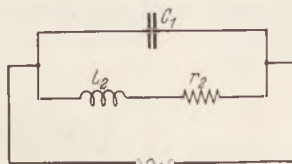


Fig. 6a. Sperrkreisableitung.

$$\begin{aligned} \text{Es ist } i_{L_1} &= \frac{u \sin(\omega t - \varphi_1)}{\sqrt{r_1^2 + \left(L_1\omega - \frac{1}{C_1\omega}\right)^2}} & (3a) & \quad \text{mit } \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{L_1\omega - \frac{1}{C_1\omega}}{r_1} \\ i_{L_2} &= \frac{u \sin(\omega t - \varphi_2)}{\sqrt{r_2^2 + L_2^2\omega^2}} & & \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{L_2\omega}{r_2} \end{aligned} \quad (3b)$$

Die beiden Ströme ergeben in ihrer Summe den Strom, den die Quelle liefert, nämlich

$$i_{L_1} + i_{L_2} = u \left\{ \sin \omega t \left[\frac{r_1}{r_1^2 + \left(L_1\omega - \frac{1}{C_1\omega}\right)^2} + \frac{r_2}{r_2^2 + L_2^2\omega^2} \right] - \cos \omega t \left[\frac{L_1\omega - \frac{1}{C_1\omega}}{r_1^2 + \left(L_1\omega - \frac{1}{C_1\omega}\right)^2} + \frac{L_2\omega}{r_2^2 + L_2^2\omega^2} \right] \right\}. \quad (3c)$$

Vorübergehend wird für die erste eckige Klammer B , für die zweite A gesetzt, so daß

$$i_{L_1} + i_{L_2} = u \sqrt{A^2 + B^2} \sin(\omega t - \varphi) \quad (3d) \quad \text{mit } \operatorname{tg} \varphi = \frac{A}{B} \quad (3e)$$

wird.

Der Wechselstromwiderstand des Kreises ist aus (3d) gleich $\frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2}}$ und eine Funktion von ω sowie den Kreisgrößen, denen in der Folge besondere Werte zugeteilt werden sollen.

Zunächst findet man durch Wiedereinführung der Werte A und B für

$$A^2 + B^2 = \frac{(r_1 + r_2)^2 + \left(L_1\omega - \frac{1}{C_1\omega} + L_2\omega\right)^2}{\left[r_1^2 + \left(L_1\omega - \frac{1}{C_1\omega}\right)^2\right] \left[r_2^2 + L_2^2\omega^2\right]}, \quad (3f)$$

während

$$\frac{A}{B} = \operatorname{tg} \varphi = \frac{\frac{L_1\omega - \frac{1}{C_1\omega}}{r_1^2 + \left(L_1\omega - \frac{1}{C_1\omega}\right)^2} + \frac{L_2\omega}{r_2^2 + L_2^2\omega^2}}{\frac{r_1}{r_1^2 + \left(L_1\omega - \frac{1}{C_1\omega}\right)^2} + \frac{r_2}{r_2^2 + L_2^2\omega^2}} \quad (3e_1)$$

durch ω und die Kreisgrößen ausgedrückt erscheint.

1. Fall: $C_1 = \infty$; entspricht 2 parallelgeschalteten Selbstinduktionen. Aus (3f) folgt für

$$\frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2}} = \sqrt{\frac{(r_1^2 + L_1^2 \omega^2)(r_2^2 + L_2^2 \omega^2)}{(r_1 + r_2)^2 + \omega^2(L_1 + L_2)^2}}. \quad (3g)$$

Trifft die Annahme $r_1 \ll L_1 \omega$ und $r_2 \ll L_2 \omega$ zu, so wird aus (3g)

$$\frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2}} = \frac{L_1 L_2 \omega}{L_1 + L_2} = A \omega \quad (3h) \quad \text{mit} \quad \frac{1}{A} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}. \quad (3i)$$

Aus (3e₁) wird $\operatorname{tg} \varphi = \infty$.

2. Fall: $L_1 = r_1 = 0$ (Fig. 6a). Aus (3f) wird

$$\frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{C_1^2 \omega^2} (r_2^2 + L_2^2 \omega^2)}{r_2^2 + \left(L_2 \omega - \frac{1}{C_1 \omega}\right)^2}}. \quad (3j)$$

Dieser Ausdruck wird ein Maximum für

$$L_2 \omega - \frac{1}{C_1 \omega} = 0, \quad (3k)$$

und zwar

$$\left(\frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2}}\right)_{\max} = \frac{L_2^2 \omega^2}{r_2} \sqrt{1 + \left(\frac{r_2}{L_2 \omega}\right)^2}. \quad (3l)$$

Aus (3e₁) wird $|\operatorname{tg} \varphi| = \frac{r_2}{L_2 \omega}$.

In der beschriebenen Selbstinduktion kann r gegenüber $L\omega$ nicht vernachlässigt werden. In der Versuchsanordnung Fig. 6a wird durch die Wahl (3k) der Phasenwinkel nicht Null, da $r_2 \ll L_2 \omega$ nicht erreicht¹ ist. Sein Wert, der dem Minimalstrom durch den Kreis zugehört, ist durch den reziproken Wert der Tangente bestimmt, die die Spule allein an der Wechselspannung bestimmen würde. Ist $r_2 \ll L_2 \omega$, so wird der Widerstand $\frac{L_2^2 \omega^2}{r_2} = \frac{L_2}{C_1 r_2}$, der bei sehr kleinem r_2 sehr hohe Werte erreichen kann. Der Widerstand nähert sich dem Werte ∞ , und der Kreis „sperrt“ die äußere Stromzufuhr ab, während die Teilströme in den Zweigen (Fig. 6a) endliche Größen mit den Scheitelwerten $\frac{1}{C_1 \omega}$ bzw. $\frac{1}{L_2 \omega}$ haben. In hochfrequenten

Schwingungskreisen trifft die angenommene Bedingung oft zu und wird zur Erzeugung kräftiger Schwingungen im Anodenkreis einer Senderöhre immer angestrebt werden².

Bei Benutzung der schon mehrfach erwähnten Selbstinduktion von 1,89 Henry muß für die Stromresonanz $C = 5,37 \mu\text{F}$ sein für $\omega = 314$. Die Messung ergibt bei $U_{\text{eff}} = 97$ bzw. 200 Volt für (3l) 1800 Ohm, $i_{C_1} = 0,16$ A bzw. 0,34, $i_{L_2} = 0,15$ A bzw. 0,315, $i_{C_1} + i_{L_2} = 0,05$ (Schätzung) bzw. 0,135 A; die entsprechenden Werte der Rechnung sind $i_{C_1} = 0,167$, 0,36, $i_{L_2} = 0,163$, 0,37, $i_{C_1} + i_{L_2} = 0,05$, 0,122 A, der mit dem Phasometer gemessene Winkel ergab 18° bzw. 20° . Um die Sperrwirkung deutlich erscheinen zu lassen, werden die drei Amperemeter durch Glühlämpchen ersetzt, die mit Kurzschlußbügel überbrückt sind und die erst nach dem Einsetzen der erzwungenen Schwingung geöffnet werden, weil sie sonst durch Stromstoß durchbrennen.

3. Fall. In (3f) wird

$$(L_1 + L_2) \omega - \frac{1}{C_1 \omega} = 0 \quad (3m)$$

gewählt, so daß

$$\frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2}} = \frac{\sqrt{(r_1^2 + L_1^2 \omega^2)(r_2^2 + L_2^2 \omega^2)}}{r_1 + r_2} = \frac{L_2^2 \omega^2}{r_1 + r_2} \sqrt{\left[1 + \left(\frac{r_1}{L_1 \omega}\right)^2\right] \left[1 + \left(\frac{r_2}{L_2 \omega}\right)^2\right]} \quad (3n)$$

wird.

¹ Dies ist auch der Grund, warum man niederfrequenten Wechselstrom zum Nachweise der Wechselstromgesetze im Unterrichte vermeidet und nur als „Notbehelf“ verwendet.

² Vgl. hierzu: Die Drei-Elektrodenröhre und ihre Anwendung, von Dr. FRIEDRICH MOELLER, Sonderheft 15 dieser Zeitschrift, S. 71 ff.

Der dazugehörige Phasenwinkel ist bestimmt durch

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{r_1 - r_2}{L_2 \omega} : \left(1 + \frac{r_1 r_2}{L_2^2 \omega^2} \right). \quad (3p)$$

Ist $r_1 \ll L_1 \omega$ bzw. $r_2 \ll L_2 \omega$, so erscheint wieder der Widerstand $\frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2}} = \frac{L_2^2 \omega^2}{r_1 + r_2}$, (3q) während $\operatorname{tg} \varphi \approx 0$ ist.

D. Das Filterelement.

Um dieses rechnerisch erfassen zu können, benötigt man ein Vorergebnis, unter welchen Bedingungen die beiden Stromzweige der Fig. 7a durch einen einzigen gleichwertigen ersetzt werden können, wenn sie Anschlußpunkte an die Wechselspannung $u = \hat{u} \sin \omega t$ sind.

Es ist nach Fig. 7a

$$i_R = \frac{\hat{u}}{R} \sin \omega t, \quad (4a)$$

$$i_C = \hat{u} C \omega \sin (\omega t + 90^\circ), \quad (4b)$$

$$i_R + i_C = \frac{\hat{u} \sqrt{1 + C^2 \omega^2 R^2}}{R} \sin (\omega t + \varphi) \quad (4c) \quad \text{mit} \quad \operatorname{tg} \varphi = C \omega R. \quad (4d)$$

Der Summenstrom läuft der Spannung um φ^0 vor, oder die gleichbedeutende Aussage auf den Strom bezogen, die Spannung läuft um φ^0 nach.

Wird dieselbe Spannung an die Klemmen CD der Schaltung Fig. 7b angeschlossen, so ist

$$u_{R_H} = R_H \cdot i \cdot \sin \omega t \quad (i \text{ gemeinsamer Strom}), \quad (5a)$$

$$u_{C_H} = \frac{i}{C_H \omega} \sin (\omega t - 90^\circ) \quad (5b)$$

$$\text{und somit } u = u_{R_H} + u_{C_H} = \frac{i \sqrt{1 + C_H^2 \omega^2 R_H^2}}{C_H \omega} \sin (\omega t - \varphi_H) \quad (5c)$$

$$\text{mit } \operatorname{tg} \varphi_H = \frac{1}{C_H \omega R_H}. \quad (5d)$$

Falls die Parallelschaltung der Reihenschaltung gleichwertig sein soll, besteht Gleichheit der Scheitelwertströme wie der Phasenwinkel, daher

$$\frac{R^2}{1 + C^2 \omega^2 R^2} = \frac{1 + C_H^2 \omega^2 R_H^2}{C_H^2 \omega^2} \quad (5e)$$

$$\text{und} \quad C \omega R = \frac{1}{C_H \omega R_H}; \quad (5f)$$

daraus folgt

$$R_H = \frac{R}{1 + C^2 \omega^2 R^2}, \quad (5g)$$

$$C_H = \frac{1 + C^2 \omega^2 R^2}{C \omega^2 R^2}. \quad (5h)$$

Im Siebelement, dessen einfachste Einrichtung in den Fig. 8a und 8b gezeichnet ist, soll an den Klemmen EF die Wechselspannung $u = \hat{u}_0 \sin \omega t$ liegen.

Welche Wechselspannung liegt dann an den Klemmen GH ?

Die Zweige zwischen GH (Fig. 8a) werden ersetzt durch den Zweig IK (Fig. 8b); die an EF angelegte Wechselspannung erfährt eine Spannungsteilung, die den zugehörigen Widerständen verhältnisgleich ist. Der gesamte zwischen EF liegende Widerstand heiße R_G , der Teilwiderstand zwischen GH , bzw. IK R_T , so daß folgt:

$$\frac{R_G^2}{R_T^2} = \frac{\left(2 L \omega - \frac{1}{C_H \omega} \right)^2 + R_H^2}{R^2} : \frac{1}{1 + C^2 \omega^2 R^2}; \quad (6a)$$

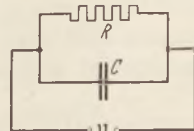


Fig. 7a. Verzweigter Wechselstromkreis.

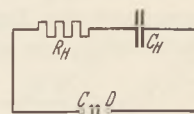


Fig. 7b. Ersatz eines Zweigkreises durch einen Reihenschaltkreis.

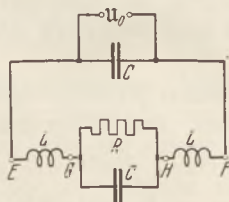


Fig. 8a. Teilspannungen in einem zusammengesetzten Kreis.

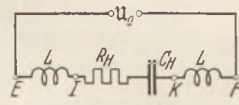


Fig. 8b. Reihenschaltung für einen zusammengesetzten Kreis.

hier werden die obigen Werte für C_H und R_H (5 g, 5 h) eingeführt, und es kommt zunächst als Zwischenergebnis

$$\frac{\mathfrak{R}_G^2}{\mathfrak{R}_T^2} = \frac{4 \omega^2 L (1 + C^2 \omega^2 R^2) - 4 L C \omega^2 R^2 + R^2}{R^2} \text{ und daraus}$$

$$\frac{\mathfrak{R}_G^2}{\mathfrak{R}_T^2} = (1 - 2 \omega^2 L C)^2 + \frac{4 \omega^2 L^2}{R^2} = \frac{U_0^2}{U_1^2} \quad (6b)$$

(U_0 Scheitelspannung an EF , U_1 an GH).

Falls R im Vergleich zu der Induktanz $L\omega$ bzw. Kondensanz $\frac{1}{C\omega}$ sehr groß wäre, nämlich einige tausend Ohm, wie es in der später zu besprechenden praktischen Anwendung des Ergebnisses (6b) der Fall ist, so könnte sein Einfluß auf die übrigen Schaltelemente vernachlässigt werden, und es bliebe dann in der Fig. 8a ein Zweig

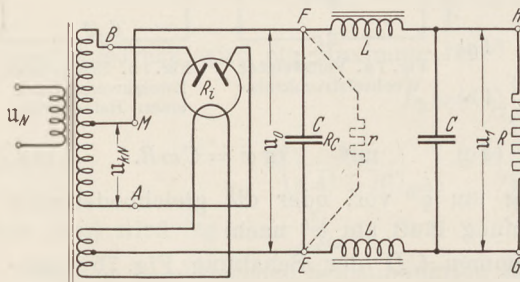


Fig. 9. Doppelweggleichrichterschaltung.

Ein Filterelement der berechneten Art wird zur Stromversorgung aus dem Wechselstromnetz in die sogenannten Netzapparate eingebaut. Die Schaltung des Netzteiles ist in Fig. 9 wiedergegeben. Die Charakteristik der in den Sekundärkreis des Transformators — der die Nennspannung des Netzes auf gewünschte Werte umspannt — geschalteten Gleichrichter-Elektronenröhre liegt in Fig. 10 vor. Die Kennlinie wurde nur bis 60 Volt aufgenommen, weil dieser Bereich für die im nachfolgenden angeordnete Übersichtsrechnung genügt und ich eine Überbelastung der Röhre vermeiden wollte. Im übrigen würde die Kenntnis der Kennlinie bis zu dem Übergang in das Sättigungsgebiet bloß eine schärfere Abgrenzung der nachstehenden Zahlenangaben erlauben.

Aus dem vorliegenden Kennliniengebiet ergibt sich ein innerer Widerstand der Röhre zu $R_i = 520$ Ohm. Der Widerstand R_C erhält für $C = 6 \mu F$ und $\omega = 314$ den Wert $R_C = \frac{1}{\omega C} = 530$ Ohm. Falls die am Rohr angelegte Scheitelwechselspannung, zwischen MA wirksam, z. B. $300 \sqrt{2}$ Volt = 424 Volt beträgt, so würde diese an den beiden in Reihe liegenden Widerständen R_i und R_C eine ihrer Größe entsprechende Spannungsteilung erfahren, derart, daß $\sqrt{U_{R_i}^2 + U_{R_C}^2}$ in jedem Augenblick der Momentanspannung an MA (Fig. 9) gleicht. Bei den angegebenen Widerstandsgrößen würden die beiden Spannungsteile der Größe nach gleich sein mit dem Scheitelwert 300 Volt. In der ersten positiven Spannungshälfte wird somit mindestens während ihrer halben Zeitdauer, das ist während $\frac{1}{200}$ sec, die Spannung am Rohr höher als 60 Volt liegen und daher die Elektrizitätsmenge $q = it = \frac{90}{1000} \cdot \frac{1}{200} = \frac{4.5}{10^4}$ Coulomb durch das Rohr treiben, falls die Kennlinie nur so weit benutzt wird, wie sie vorliegt. Diese Elektrizitätsmenge muß den Kondensator auf ein Potential aufladen, dessen Größe sich aus

* Der Schwingungskreis ist gebildet aus zwei Selbstinduktionen, die in Reihe liegen, und zwei Kapazitäten, die ebenfalls reihengeschaltet sind, daher $\omega_0^2 = \frac{1}{2L \cdot \frac{C}{2}} = \frac{1}{LC}$.

$V_{\text{Volt}} = Q_{\text{Coulomb}} : C_{\text{Farad}}$ zu $\frac{4,5}{10^4} : \frac{6}{10^6} = 75 \text{ Volt}$ ergibt. Aus diesem Rechenergebnis folgt, daß die Spannungsteilung nicht zu gleichen Teilen stattfindet, sondern daß der größere Teil an der Röhre wirksam ist; dies ist auch einleuchtend, da das Rohr keinen konstanten Widerstand in der angegebenen Größe von 520Ω darstellt — wie aus dem geradlinigen Teil der Kennlinie erschlossen werden kann —, sondern daß der Röhrenwiderstand auf um so höhere Werte ansteigt, je mehr die Emission der Sättigung (bzw. dem Stromanlaufgebiet) nahe kommt. Während der nun folgenden negativen Spannungswelle ist aber MB (Fig. 9) positiv (das Rohr arbeitet in Doppelweggleichrichtung), so daß eine neuerliche Zufuhr von Elektrizität auf den Sammelkondensator eintritt, die aber wegen der bereits vorhandenen Gegenspannung 75 Volt nicht mehr dieselbe Größe wie in der ersten Hälfte erreichen wird. Nach einigen Perioden wird jede weitere Zufuhr aufhören, wenn nämlich die Gegenspannung am Kondensator die am Transformator wirksame Scheitelspannung 424 Volt erreicht. Das Rohr öffnet sich nicht mehr, die Ventilwirkung wird erst wieder aufgehoben, wenn die Ladung am Sammelkondensator abnimmt. Wäre beispielsweise EF durch einen Widerstand r (Fig. 9 punktiert) überbrückt, über welchen der Strom 50 mA fließt, so betrüge die während einer halben Spannungswelle abgeführte Elektrizitätsmenge $q = \frac{5}{10^4} C$, während die im günstigsten Fall am Kondensator angesammelte Menge nach $Q = UC$ zu $\frac{6}{10^6} \cdot 424 = \frac{25,44}{10^4} C$ berechnet wird. Zu- und Abfuhr sind nicht im Gleichgewicht, die Spannung am Kondensator sinkt zwangsläufig, bis diese Bedingung erfüllt ist. Offensichtlich hängt die sich einstellende Endspannung von der Größe des Abnahmestromes bzw. des Widerstandes ab, ein Nachteil, der bekanntlich Netzspannungsgeräte für solche Messungen nicht geeignet erscheinen läßt, bei denen feste Abnahmespannungen Vorbedingung sind.

Es läßt sich auch durch eine rohe Schätzung angeben, innerhalb welcher Grenzen die Spannung am Kondensator schwankt. Es soll z. B. im Gleichgewichtsfall die Spannung am Kondensator 250 Volt betragen. Die bei dieser Spannung vorhandene Kondensatorladung beträgt $\frac{15}{10^4} C$. Wäre die Zu- bzw. Abfuhr der oben angegebenen Mengen von $4,5 \cdot 10^{-4} C$ (der Abnahmestrom somit nur 45 mA) während der Spannungswellenhälfte zeitlich getrennt, so würde die Ladung zwischen $10,5 \cdot 10^{-4}$ und $15 \cdot 10^{-4} C$ schwanken oder die Spannung zwischen 250 und 175 Volt pendeln. Ein an die Klemmen EF mit geeignetem Vorwiderstand parallel geschaltetes Telefon läßt einen Wechselstromton mit der Frequenz 100 kräftig durch. Um die Spannungspendelung von 75 Volt* auf einen zulässigen Wert herabzudrücken, wird der Abnahmewiderstand nicht direkt an die Klemmen EF gelegt, sondern ein geeignetes Filter dazwischengeschaltet. Die Selbstinduktion des Filters wirkt Stromschwankungen entgegen, der zweite Kondensator glättet vorhandene Spannungssöße. Wird das Siebelement für eine Kreisfrequenz von 50π (Eigenschwingungsdauer $\frac{1}{25}$ Sekunde) bemessen, so erfordert dies die Selbstinduktion 13,3 Henry und 2 Kapazitäten von je $6 \mu F$. Dann ist $\omega : \omega_0 = 4$ (ω = doppelte

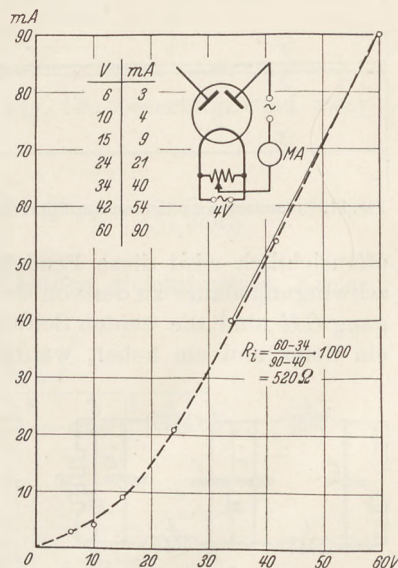


Fig. 10.
Kennlinie einer Gleichrichterröhre.

* In dem von mir ausgemessenen Netzgerät betrug die Spannungspendelung nur 18 V; der Radioapparat war angeschlossen und verbrauchte dabei 30 mA Strom. Schaltet man die Lautsprecherröhre aus, so geht die Schwankung fast auf Null zurück, weil nun durch den verhältnismäßig großen Gesamtwiderstand der übrigen Röhren keine große Stromentnahme erfolgt.

Netzkreisfrequenz, weil Vollweggleichrichtung) und somit $U_1:U_0 = 1:31$ (siehe 6c). R soll die Größe von beiläufig $5000\ \Omega$ besitzen (50 mA Abnahmestrom) und hätte — wie man sich durch Einsetzen aller Werte in das Ergebnis (6c) überzeugen kann — fast gar keinen Einfluß auf den Wert $U_1:U_0$. Die Spannungsschwankung nach erfolgter Siebung beträgt nur $75:31 = 2,4\text{ V}$, ein Wert, der in dem an HG parallel gelegten Telefon kaum mehr störende Lautstärke verursacht.

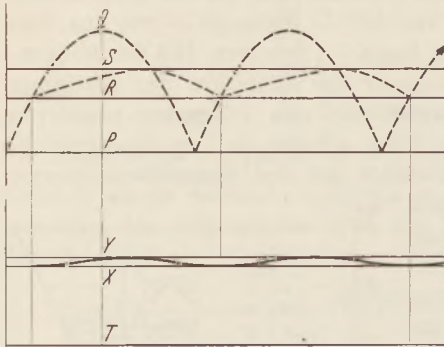


Fig. 11. Spannungsamplituden am Filterelement.

offensichtlich wird diese Pendelung um so stärker wettgemacht, je größer die Eigenschwingungsdauer zu der von der Röhre her erzwungenen Ladeschwingung ist. Am Ausgang GH sind die beiden Schwingungen superponiert, so daß mindestens zwei Töne, ein tiefer und ein hoher, wahrgenommen werden können. Der Versuch bestätigt dies.

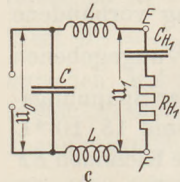
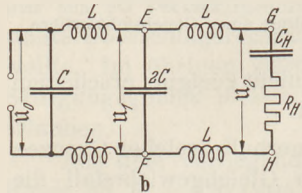
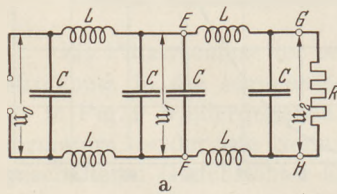


Fig. 12. a, a₁; b, b₁; c. Aufbau der Filterkette.

zwischen GH in Fig. 12a werden durch einen einzigen ersetzt (Fig. 12a₁). Die beiden zwischen EF in Fig. 12b liegenden Zweige werden durch den Zweig EF der Fig. 12b₁ ersetzt. Wie sich C_H und R_H durch C und R ausdrücken, ist im vorhergehenden (5g, 5h) dargelegt. Im Zweig $EFGH$ der Fig. 12a₁ ist nach dem Ohmschen Gesetz

$$i_{EGHF} = \frac{U_1 \sin(\omega t - \varphi)}{\sqrt{R_H^2 + \left(2L\omega - \frac{1}{C_H\omega}\right)^2}} \quad (7a)$$

$$\text{mit } \tan \varphi = \frac{2L\omega - \frac{1}{C_H\omega}}{R_H} \quad (7b)$$

¹ In Fig. 11 ist die Wechselscheitelspannung am Transformator durch PQ , die am Kondensator C (EF) durch RS und die am Filterausgang GH durch XY dargestellt, ohne aber die wirklichen Größenverhältnisse in der Zeichnung zum Ausdruck zu bringen.

Der Strom im Zweig EF über den Kondensator beträgt

$$i_{EF} = U_1 \cdot 2 \omega C \sin (\omega t + 90^\circ). \quad (7c)$$

Die Summe dieser beiden Ströme heiße i_1 und ist

$$i_1 = \frac{U_1 \sqrt{\left[2 \omega C \sqrt{R_H^2 + \left(2 L \omega - \frac{1}{C_H \omega} \right)^2} - \sin \varphi \right]^2 + \cos^2 \varphi}}{\sqrt{R_H^2 + \left(2 L \omega - \frac{1}{C_H \omega} \right)^2}} \cdot \sin (\omega t + \varphi_1) \quad (7d)$$

$$\text{mit } \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{2 \omega C \sqrt{R_H^2 + \left(2 L \omega - \frac{1}{C_H \omega} \right)^2} - \sin \varphi}{\cos \varphi}. \quad (7e)$$

Falls $\varphi_1 > 0$, so ist der Ersatz durch R_{H_1} und C_{H_1} Fig. 12c berechtigt, und zwar müssen dann die Beziehungen

$$i_1 = \frac{U_1}{\sqrt{R_{H_1}^2 + \frac{1}{C_{H_1}^2 \omega^2}}} \sin (\omega t + \varphi_1) \quad (7f) \quad \text{und} \quad \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{1}{C_{H_1} \omega R_{H_1}} \quad (7g)$$

bestehen. Da die Widerstände und Phasenwinkel der beiden gleichwertigen Kreise auch gleich sein müssen, so folgt aus

$$R_{H_1}^2 + \frac{1}{C_{H_1}^2 \omega^2} = \frac{R_H^2 + \left(2 L \omega - \frac{1}{C_H \omega} \right)^2}{\left[2 \omega C \sqrt{R_H^2 + \left(2 L \omega - \frac{1}{C_H \omega} \right)^2} - \sin \varphi \right]^2 + \cos^2 \varphi}$$

mit Benutzung von (7b, 7e, 7g)

$$R_{H_1} = \frac{R_H}{\left[2 \omega C \sqrt{R_H^2 + \left(2 L \omega - \frac{1}{C_H \omega} \right)^2} - \sin \varphi \right]^2 + \cos^2 \varphi}. \quad (7h)$$

Ferner ist nach Fig. 12c:

$$\frac{U_0^2}{U_1^2} = \frac{\left(2 L \omega - \frac{1}{C_H \omega} \right)^2 + R_{H_1}^2}{\frac{1}{C_{H_1}^2 \omega^2} + R_{H_1}^2}. \quad (7i)$$

Die Einführung des Wertes (7h) und des aus (7e, 7g, 7h) für $\frac{1}{C_{H_1} \omega}$ folgenden ergibt:

$$\frac{U_0^2}{U_1^2} = \frac{\left\{ 2 L \omega - \frac{R_H \left[2 \omega C \sqrt{R_H^2 + \left(2 L \omega - \frac{1}{C_H \omega} \right)^2} - \sin \varphi \right]}{\cos \varphi \left[\left(2 \omega C \sqrt{R_H^2 + \left(2 L \omega - \frac{1}{C_H \omega} \right)^2} - \sin \varphi \right)^2 + \cos^2 \varphi \right]} \right\}^2 + \frac{R_H^2}{\left[2 \omega C \sqrt{R_H^2 + \left(2 L \omega - \frac{1}{C_H \omega} \right)^2} - \sin \varphi \right]^2 + \cos^2 \varphi}}{\frac{R_H^2 + \left(2 L \omega - \frac{1}{C_H \omega} \right)^2}{\left[2 \omega C \sqrt{R_H^2 + \left(2 L \omega - \frac{1}{C_H \omega} \right)^2} - \sin \varphi \right]^2 + \cos^2 \varphi}} \quad (7k)$$

Vorübergehend setzt man in diesem Ergebnis

$$\left[2 \omega C \sqrt{R_H^2 + \left(2 L \omega - \frac{1}{C_H \omega} \right)^2} - \sin \varphi \right] = A,$$

und dann folgt nach Entfernung der Doppelbrüche:

$$\frac{U_0^2}{U_1^2} = \frac{(R_H - 2 L \omega A \cos \varphi)^2 + 4 L^2 \omega^2 \cos^4 \varphi}{R_H^2}. \quad (7l)$$

Durch Wiedereinführung des Wertes A und der für $\sin \varphi$ bzw. $\cos \varphi$ aus (7b) berechneten Werte folgt:

$$\frac{u_0^2}{u_1^2} = \left[1 - \frac{2L\omega}{\sqrt{R_H^2 + \left(2L\omega - \frac{1}{C_H\omega}\right)^2}} \cdot \left(2\omega C \sqrt{R_H^2 + \left(2L\omega - \frac{1}{C_H\omega}\right)^2} - \frac{2L\omega - \frac{1}{C_H\omega}}{\sqrt{R_H^2 + \left(2L\omega - \frac{1}{C_H\omega}\right)^2}} \right) \right]^2 + \frac{4L^2\omega^2 R_H^2}{\left[R_H^2 + \left(2L\omega - \frac{1}{C_H\omega}\right)^2 \right]^2} \quad (7m)$$

Weiter kommt durch Quadrieren und Zusammenfassung:

$$\frac{u_0^2}{u_1^2} = (1 - 4\omega^2 LC)^2 + 4L\omega(1 - 4\omega^2 LC) \cdot \frac{2L\omega - \frac{1}{C_H\omega}}{R_H^2 + \left(2L\omega - \frac{1}{C_H\omega}\right)^2} + \frac{4L^2\omega^2 \left[R_H^2 + \left(2L\omega - \frac{1}{C_H\omega}\right)^2 \right]}{\left[R_H^2 + \left(2L\omega - \frac{1}{C_H\omega}\right)^2 \right]^2} \quad (7n)$$

In das Ergebnis werden die Werte für C_H und R_H aus (5g, 5h) eingesetzt; daher wird:

$$\begin{aligned} \frac{u_0^2}{u_1^2} &= (1 - 4\omega^2 LC)^2 + \frac{8L^2\omega^2(1 - 4\omega^2 LC) \left(\frac{1}{R^2} + C^2\omega^2 \right) - 4CL\omega^2(1 - 4\omega^2 LC) + 4L^2\omega^2 \left(\frac{1}{R^2} + C^2\omega^2 \right)}{\frac{4L^2\omega^2}{R^2} + (1 - 2LC\omega^2)^2} \\ &= (1 - 4\omega^2 LC)^2 + \frac{4 \left[\frac{L}{CR^2} \cdot CL\omega^2 + L^2C^2\omega^4 \right] (3 - 8\omega^2 LC) - 4\omega^2 LC(1 - 4\omega^2 LC)}{\frac{4L}{CR^2} \cdot LC\omega^2 + (1 - 2LC\omega^2)^2} \quad (7p) \end{aligned}$$

Um das Ergebnis (7p) anders schreiben zu können, wird angenommen, daß die Eigenkreisfrequenz der einzelnen Kettenglieder durchgehend dieselbe ist, nämlich $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$. Dann ist offensichtlich die Zwischenspannung u_1 in Abhängigkeit vom

Verhältnis $\frac{\omega^2}{\omega_0^2} = v$ festgelegt. Das Verhältnis $u_1 : u_2$ ist im Ergebnis (6c) niedergelegt, nur sind die Zeiger 0 bzw. 1 gegen 1 und 2 auszutauschen. Das Verhältnis der Eingangs- zur Ausgangsspannung ist somit über (6c) und (7p) durch

$$\frac{u_0^2}{u_2^2} = \frac{u_0^2}{u_1^2} \cdot \frac{u_1^2}{u_2^2} = (1 - 4v)^2 \left[(1 - 2v)^2 + \frac{4Lv}{CR^2} \right] + 4 \left(\frac{Lv}{CR^2} + v^2 \right) (3 - 8v) - 4v(1 - 4v) \quad (7q)$$

als Funktion von v dargestellt. (7q) führt durch Vereinfachung zu

$$\frac{u_0^2}{u_2^2} = 1 - 16v + 80v^2 - 128v^3 + 64v^4 + \frac{16Lv}{CR^2} (1 - 2v)^2, \quad (7r)$$

und durch Wiedereinführung des Wertes für $v = \frac{\omega^2}{\omega_0^2}$ kommt

$$\frac{u_0}{u_2} = \sqrt{\left[1 - \frac{8\omega^2}{\omega_0^2} \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right) \right]^2 + \frac{16L}{CR^2} \cdot \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \left(1 - 2 \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right)^2} \quad (7s)$$

Werden die für das erste Filter (6c) angenommenen Werte für $\omega : \omega_0 = 4$, $R = 5000 \Omega$ und die Eingangsscheitelspannung 75 V beibehalten, so wird

$\frac{u_0}{u_2} = \sqrt{(1 + 1920)^2 + 1130}$, woraus ersichtlich ist, daß der Einfluß des zweiten Gliedes unter der Wurzel auf den Wert u_2 unwesentlich ist. Für $u_0 = 75 \text{ V}$ wird $u_2 = \frac{75}{1921} = 0,039 \text{ V}$, so daß praktisch eine Gleichspannung an den Ausgangsklemmen liegt.

Die Ergebnisse (6c), (7s) stellen mathematisch den funktionalen Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung in dem Frequenzverhältnis der erzwungenen und eigenen Schwingung her. Die Gleichung (6c) hat die Form einer Parabel, wie

sofort erkannt werden kann, wenn $\left(\frac{u_0}{u_1}\right)^2 = y$ und $\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 = x$ gesetzt wird. Man erhält dadurch:

$$y = (1 - 2x)^2 + \frac{4Lx}{CR^2}, \quad \text{daraus} \quad \frac{dy}{dx} = y' = -4(1 - 2x) + \frac{4L}{CR^2} \quad \text{und} \quad y'' = +8.$$

Ein Minimum ist somit immer vorhanden, und zwar für den Wert $x = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{L}{CR^2}\right)$. Da x aus physikalischen Gründen negative Werte nicht annehmen kann, so folgt daraus, daß $\left(1 - \frac{L}{CR^2}\right) \geq 0$ sein und daher der Minimalwert für $y_{\min} = 1 - \left(1 - \frac{L}{CR^2}\right)^2$ zwischen 0 und 1 liegen muß. Für $y_{\min} = 0$ wird $x = \frac{1}{2}$ und $\frac{L}{CR^2} = 0$, d. h. $R \gg \frac{L}{C}$. Für die Bedingung $0 < y_{\min} < 1$ gibt es demnach immer zwei x -Werte, denen der Wert $y = 1$ zugehört.

Diese zwei x -Werte begrenzen das Intervall, innerhalb dessen eine Eingangsspannung ungedämpft oder sogar mit aufgeschaukelter Amplitude am Ausgang aufscheint. Das Filter wäre für ein Frequenzband von zu bestimmender Größe durchlässig. Im Netzanschlußgerät muß man diesem Bereich so weit als möglich ausweichen, da man gerade das Gegenteil der Durchlässigkeit erreichen will, nämlich durch Wahl eines solchen x -Punktes, daß der zugehörige y -Wert weit über die Größe 1 hinausfällt. Offenbar bestimmen die Baubestandteile des Filters die Güte der Filterung.

E. Bandfilter.

Filter mit einem beabsichtigten Durchlaßbereich werden heute als Eingangsstufe in Radioapparate eingebaut. Die Schaltung des Filters ist im wesentlichen in Fig. 13 a

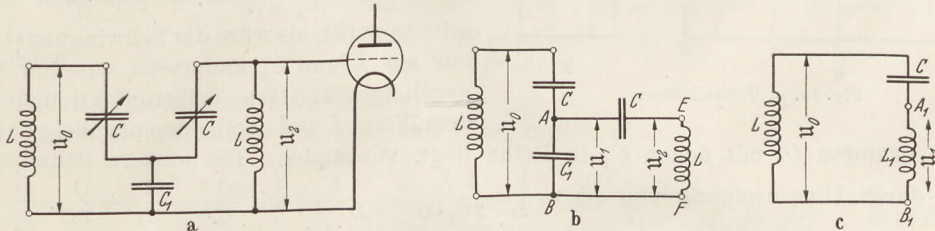


Fig. 13. a, b, c Bandfilter.

wiedergegeben. Angenommen wird, daß die Selbstinduktionen keinen Ohmschen Widerstand aufweisen und die Wechselstrom- bzw. Hochfrequenzelemente in reinster Form vorhanden sind. Nach dem Schaltbilde der Fig. 13 b ist der Kreis $A E F B$ durch $A_1 B_1$ (Fig. 13 c) zu ersetzen. Ohne näher die folgende Schreibweise zu erklären, ist

$$\left. \begin{aligned} i_{C_1} &= u_1 \omega C_1 \sin(\omega t + 90^\circ), \\ i_C &= \frac{u_1}{L\omega - \frac{1}{\omega C}} \sin(\omega t - 90^\circ) \text{ (angenommen induktiver Charakter)}, \end{aligned} \right\} \quad (8a)$$

$$\text{daraus} \quad i_{C_1} + i_C = \frac{u_1}{L_1 \omega} \sin(\omega t - 90^\circ) \quad (8b) \quad \text{mit} \quad \frac{1}{L_1 \omega} = \frac{\omega C}{LC\omega^2 - 1} - \omega C_1. \quad (8c)$$

$$\text{Daher ist} \quad \frac{u_0}{u_1} = \frac{L_1 \omega - \frac{1}{C\omega}}{L_1 \omega} = 1 + \frac{C_1}{C} - \frac{1}{LC\omega^2 - 1}, \quad (8d)$$

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{L\omega} = 1 - \frac{1}{LC\omega^2}, \quad (8e)$$

$$(8d, 8e) \text{ ergeben} \quad \frac{u_0}{u_2} = 1 + \frac{C_1}{C} - \frac{1}{LC\omega^2} \left(2 + \frac{C_1}{C}\right). \quad (8f)$$

Im Durchlaßbereich gilt die Ungleichung

$$-1 \leq \frac{u_0}{u_2} = 1 + \frac{C_1}{C} - \frac{1}{LC\omega^2} \left(2 + \frac{C_1}{C} \right) \leq +1. \quad (8g)$$

Die untere Grenze wird für $\omega_u^2 = \frac{1}{LC}$, die obere für $\omega_{ob}^2 = \frac{1}{LC} \cdot \frac{2C + C_1}{C_1}$ erreicht. Die Frequenzbreite ist demnach $\omega_{ob} - \omega_u = \frac{1}{\omega_{ob} + \omega_u} \cdot \frac{1}{LC} \cdot \frac{2C}{C_1}$. Wird $\omega_u^2 = \frac{1}{LC}$ gesetzt und groß gegenüber $(\omega_{ob} - \omega_u)$ gewählt, wie es im praktischen Falle sein soll, so kann das letzte Ergebnis in großer Annäherung auf die Form $\omega_{ob} - \omega_u = \omega_u \cdot \frac{C}{C_1}$ gebracht werden, und daraus folgt schließlich die Bandbreite

$$f_{ob} - f_u = \Delta f = f_u \cdot \frac{C}{C_1}. \quad (8h)$$

Das Ergebnis (8h) zeigt, daß bei einer vorgegebenen Durchlaßbreite der Kondensator C_1 für kurze Wellen einen großen Wert, für lange Wellen einen kleinen Wert erhalten muß. Es ist üblich, in Rundfunkempfangsgeräten den Kondensator $C = 500$ cm (Höchstwert) zu wählen; daher müßte bei der Durchlaßgröße 10 Kilohertz für die Welle $\lambda = 506,8$ m entsprechend 592 Kilohertz der Wert $C_1 \approx 30000$ cm und für die Welle $\lambda = 1571$ m entsprechend 191 Kilohertz der Wert $C_1 \approx 9500$ cm sein. Um sowohl am mittleren wie am langen Rundfunkwellenband eine mittlere Durchsiebung zu erhalten, wird

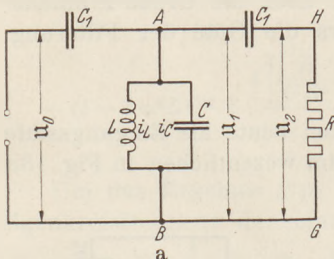
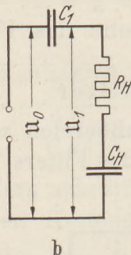


Fig. 14. a, b Bandfilter.



der C_1 -Wert in zwei Teile hintereinandergeschaltet und durch Schalter der eine im Rundfunkwellenbereich kurzgeschlossen.

Als Gesamtergebnis ergibt sich aus den beiden Grenzkreisfrequenzen $\omega_u^2 = \frac{1}{LC}$ und $\omega_{ob}^2 = \frac{1}{LC} \cdot \frac{2C + C_1}{C_1}$, daß das Bandfilter einerseits so wirkt, als wäre der Schwingungskreis nur aus L und C , andererseits aus den zwei parallelgeschalteten Selbstinduktionen mit dem Werte L und den beiden parallelgelegten

Kondensatoren C , mit denen C_1 in Reihe liegt, vorhanden. Die letztere Behauptung folgt durch Umschreibung von $\omega_{ob}^2 = \frac{1}{L} \cdot \frac{2C_1 \cdot C}{2C + C_1} = \frac{1}{L} \cdot \frac{1}{C_r}$ mit $\frac{1}{C_r} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{2C}$.

Ein Filter anderer Bauart mit gleicher Durchlaßbreite ist in Fig. 14a dargestellt. Es ist durch einen großen Widerstand R geschlossen, an welchem eine Einfallsspannung von gegebener Frequenz mit größtmöglicher Amplitude abgenommen werden soll. Nach Fig. 14a folgt:

$$\left. \begin{aligned} i_L &= \frac{u_1}{L\omega} \sin(\omega t - 90^\circ), \\ i_C &= u_1 \omega C \sin(\omega t + 90^\circ), \\ i_{C_1} - i_R &= \frac{u_1}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C_1^2}}} \sin(\omega t + \varphi^0) \text{ mit } \operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{\omega C_1 R} \end{aligned} \right\} \quad (9a)$$

daraus

$$\Sigma i = u_1 \sqrt{\left(\frac{R}{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C_1^2}} \right)^2 + \left(\omega C - \frac{1}{L\omega} + \frac{\frac{1}{\omega C_1}}{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C_1^2}} \right)^2} \sin(\omega t + \varphi_1^0) \quad (9b)$$

mit

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{\omega C - \frac{1}{L\omega} + \frac{\frac{1}{\omega C_1}}{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C_1^2}}}{\frac{R}{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C_1^2}}} = \frac{B}{A}, \quad (9c)$$

daher

$$\Sigma i = u_1 \sqrt{A^2 + B^2} \sin(\omega t + \varphi_1); \quad (9d)$$

die Phasenvoreilung erlaubt, den Kreis $ABGH$ durch einen Kondensator C_H in Reihe mit dem Widerstand R_H zu ersetzen. Daher ist nach Fig. 14b

$$\Sigma i = \frac{u_1}{\sqrt{R_H^2 + \frac{1}{C_H^2 \omega^2}}} \sin(\omega t + \varphi_1^0), \quad (9e)$$

Scheitelwerte und Phasenwinkel sollen in (9d, 9e) gleich sein, also

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{1}{R_H C_H \omega} = \frac{B}{A} \quad (9f) \quad \text{und} \quad R_H^2 + \frac{1}{C_H^2 \omega^2} = \frac{1}{A^2 + B^2}; \quad (9g)$$

$$\text{demnach ist} \quad R_H = \frac{A}{A^2 + B^2} \quad (9h) \quad \text{und} \quad \frac{1}{C_H \omega} = \frac{B}{A^2 + B^2}. \quad (9i)$$

Ferner wird die Fig. 14a durch Fig. 14b ersetzt mit der Bedingung

$$\frac{1}{C_2} = \frac{1}{C_H} + \frac{1}{C_1}, \quad (9j)$$

und es ist

$$\frac{u_0^2}{u_1^2} = \frac{R_H^2 + \frac{1}{C_2^2 \omega^2}}{R_H^2 + \frac{1}{C_H^2 \omega^2}} = \left(1 + \frac{B}{C_1 \omega}\right)^2 + \left(\frac{A}{C_1 \omega}\right)^2. \quad (9k)$$

In (9k) werden die Werte für A und B aus (9c) eingeführt, und es wird nach Zusammenfassung:

$$\frac{u_0^2}{u_1^2} = \left(1 + \frac{\omega C - \frac{1}{L \omega}}{C_1 \omega}\right)^2 + 2 \left(1 + \frac{\omega C - \frac{1}{L \omega}}{C_1 \omega}\right) \cdot \frac{1}{R^2 \omega^2 C_1^2 + 1} + \frac{1}{R^2 \omega^2 C_1^2 + 1}, \quad (9l)$$

während

$$\frac{u_1^2}{u_2^2} = \frac{R^2 \omega^2 C_1^2 + 1}{R^2 \omega^2 C_1^2} \quad (9m)$$

nach dem Schaltschema berechnet wird.

Durch Multiplikation von (9l) und (9m) ergibt sich:

$$\frac{u_0^2}{u_2^2} = \left(1 + \frac{\omega C - \frac{1}{L \omega}}{C_1 \omega}\right)^2 \left(1 + \frac{1}{C_1^2 \omega^2 R^2}\right) + 2 \left(1 + \frac{\omega C - \frac{1}{L \omega}}{C_1 \omega}\right) \cdot \frac{1}{R^2 \omega^2 C_1^2} + \frac{1}{R^2 \omega^2 C_1^2},$$

daraus

$$\frac{u_0^2}{u_2^2} = \left(1 + \frac{\omega C - \frac{1}{L \omega}}{C_1 \omega}\right)^2 + \frac{1}{R^2 \omega^2 C_1^2} \left[\left(1 + \frac{\omega C - \frac{1}{L \omega}}{C_1 \omega}\right)^2 + 2 \left(1 + \frac{\omega C - \frac{1}{L \omega}}{C_1 \omega}\right) + 1 \right] \quad (9n)$$

Schließlich ist das Ergebnis:

$$\frac{u_0^2}{u_2^2} = \left(1 + \frac{\omega C - \frac{1}{L \omega}}{C_1 \omega}\right)^2 + \frac{1}{R^2 \omega^2 C_1^2} \left(2 + \frac{\omega C - \frac{1}{L \omega}}{C_1 \omega}\right)^2. \quad (9p)$$

Für $R \gg \frac{1}{C_1 \omega}$ folgt aus (9p)

$$\frac{u_0}{u_2} = 1 + \frac{\omega C - \frac{1}{L \omega}}{C_1 \omega}. \quad (9r)$$

Der Durchlaßbereich liegt zwischen

$$-1 \leq 1 + \frac{\omega C - \frac{1}{L \omega}}{C_1 \omega} \leq +1. \quad (9s)$$

Für die untere Grenze gilt $\omega_u^2 = \frac{1}{L(C + 2C_1)}$, für die obere $\omega_{ob}^2 = \frac{1}{LC}$. Der Bereich kann für eine gewollte Frequenz durch Wahl von C_1 eine gewünschte Breite erhalten.

gültig für die linke Hälfte, eine Kurve dritten Grades. Diese Form ist unabhängig vom Balkenquerschnitt. Man kann sie auch gewinnen aus den Forderungen: y'' proportional x ; y' in der Mitte Null; y am Auflager Null, in der Mitte $= -f$.

3. Der erste, nach links gerichtete Anteil an der Verschiebung s des Auflagerpunktes des Balkens ergibt sich aus dem Unterschied von Bogen und Sehne:

$$s_1 = \int (\sqrt{1 + y'^2} - 1) dx;$$

angenähert für kleine Neigungen:

$$s_1 = \int \frac{1}{2} y'^2 dx, \text{ integriert über die Länge } l.$$

Wir setzen y' aus Absatz 2 ein und berechnen das Integral als das Doppelte des Wertes für die linke Hälfte:

$$s_1 = \frac{12f^2}{5l} \text{ proportional zu } f^2.$$

Dieser Unterschied zwischen Bogen und Sehne hängt natürlich von der Form der Kurve ab. Bei der Parabel (Telegraphendraht) z. B. ist er $8f^2/3l$, etwas größer als hier. Der Kreisbogen ist in dieser Näherung nicht von der Parabel unterschieden.

4. Der zweite, nach rechts gerichtete Anteil an s folgt aus der Drehung α der beiden Endquerschnitte und dem Abstand e der unteren Faser von der neutralen Schicht.

$$s_2 = 2e\alpha = \frac{6ef}{l} \text{ proportional } f.$$

Für den rechteckigen Querschnitt ist $e = h/2$. Man kann auch die Verlängerungen der Differentiale dx der unteren Faser für jedes x ausrechnen und integrieren. Die Verschiebung ist also insgesamt:

$$s = \frac{6ef}{l} - \frac{12f^2}{5l} \text{ eine Parabel (Fig. 3),}$$

allgemein für beliebige Querschnittsform.

5. Passende Werte für ein Modell sind $l = 1000 \text{ mm}$; quadratischer Querschnitt $b = h = 16 \text{ mm}$; $E = 100\,000 \text{ kg/cm}^2$ für Fichtenholz.

$$s \text{ wird Null für } f = \frac{5}{2}e = \frac{5}{4}h = 20 \text{ mm.}$$

$$\text{Sein Maximum liegt bei } f = \frac{5}{4}e = \frac{5}{8}h = 10 \text{ mm}$$

$$\text{und hat den Wert } s_{\max} = \frac{15e^2}{4l} = \frac{15h^2}{16l} = 0,240 \text{ mm.}$$

Die Rolle kehrt also erst um, wenn die Durchbiegung größer als die halbe Höhe des Trägers ist. In fast allen praktisch vorkommenden Fällen wird sie sich also bei Belastung nach außen drehen. Die Rolle kann im Modell ein Draht von $\sim 1 \text{ mm}$ Durchmesser mit einem 300 mm langen Zeiger sein. Dann verschiebt sich die Zeigerspitze um 72 mm nach rechts, ehe sie umkehrt. Man kann den Versuch dann noch bis etwa $f = 3e = \frac{3}{2}h = 24 \text{ mm}$ treiben. Dann ist $s = -\frac{18e^2}{5l} = -\frac{9h^2}{10l} = -0,230 \text{ mm}$.

Dabei ist die Kraft $P = 6,3 \text{ kg}$, die Beanspruchung $\sigma = 230 \text{ kg/cm}^2$. Das hält der Stab aus.

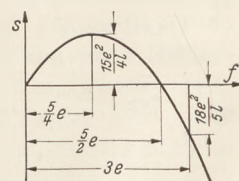


Fig. 3. Bewegung des Auflagerpunktes abhängig von der Durchbiegung.

Nachweis der Eigenbewegung von 61 Cygni durch Photographie mit einer Handkamera.

Von S. Janß in Wandsbek.

Die Fixsterne ändern ihre Örter durch Eigenbewegungen. Letztere sind aber nur in wenigen Fällen so groß, daß sie Schulinstrumenten zugänglich werden. Für unsere Breiten kommen in Betracht BARNARDS Pfeilstern in der Nähe von 66 Ophiuchi (Helligkeit 9,7^m), GROOMBRIDGE 1830 im großen Bären (6,5^m) und 61 Cygni. Beim

ersten macht das Auffinden Schwierigkeit, selbst mit dem Atlas der Bonner Durchmusterung oder dessen verkleinerter und ganz erheblich verbilligter Neuauflage von BEYER-GRAFF (ganz vorzüglich). Der zweite ist schwierig, weil weder er selbst noch ein Stern in seiner Nachbarschaft mit bloßem Auge sichtbar ist. Der dritte ist in klarer Nacht gut mit dem Auge sichtbar, zum Nachführen hell genug und verdient

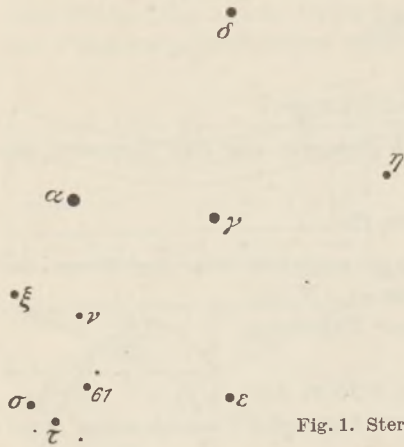


Fig. 1. Sternbild des Schwans.

dadurch besonderes Interesse, daß F. W. BESSEL auf Grund der großen Eigenbewegung eine meßbare Parallaxe vermutete und sie durch Helio-
metermessungen bestätigt fand; das war die erste gemessene Parallaxe ($0,30''$). 61 Cygni ist ein Doppelstern: Helligkeit 5,57 und 6,28^m, Abstand $25''$, Position 136° , jährliche Eigenbewegung $5,2''$ mit der Position 50° , also von ϵ Cygni fort (Fig. 1).

Ausreichend ist eine Handkamera von 135 mm Brennweite; bei größerem f wird das Nachführen schwierig¹; bei kleinerem f muß

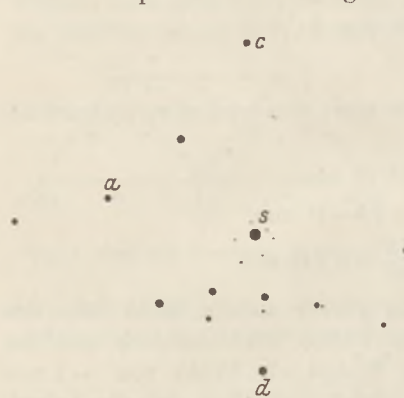


Fig. 2. Umgebung von 61 im Schwan.

die Zwischenzeit erheblich größer gewählt werden (bei meinen Aufnahmen 5 Jahre), und mit der Verkleinerung des Objektivdurchmessers nimmt die Belichtungszeit auch zu (das sogenannte Öffnungsverhältnis ist bei Sternaufnahmen ohne Einfluß; es kommt nur auf den Durchmesser des Objektivs an). Meine Aufnahmen vom 1. Oktober 1930 und 23. September 1935 ergeben $5 \cdot 5,2 = 26''$ oder rund $0,02$ mm Ortsveränderung; das ist sicher nachweisbar. — Man befestigt die Kamera entweder durch Riemen am Rohr (für diesen Zweck ausreichend) oder durch ein Holzbrett². Sie wird durch Strichspuren fokussiert. Bequem ist es, Fernrohr mit Kamera auf die Polgendung zu richten und dann zu beiden Seiten der an der Kamera markierten Stellung für unendlich mit etwa $0,2$ mm verschiedenen Einstellungen Aufnahmen von mindestens 5 min Dauer zu machen, ohne etwas an den sonstigen Stellungen zu ändern; die letzte Spur wird durch eine Unterbrechung am Schluß besonders markiert. Die günstigste Einstellung findet man leicht nach dem Aussehen der Spur; $0,1$ mm ist belanglos. — Für die zweite Aufnahme benutzte ich Agfa-Isochrom-Platten; sie sind feinkörnig und schleiern bei einer Entwicklungsdauer von 5 min in Rodinal 1:10 nicht, wenn sie möglichst wenig dem roten Dunkelkammerlicht ausgesetzt werden.

Den Stern findet man leicht mit einer besseren Sternkarte (etwa SCHURIG-GÖTZ) mit dem Auge oder aushilfsweise nach Fig. 1. Um die Sterne, gegen die vermessen werden soll, zu erhalten, genügen bei dem Objektivdurchmesser 30 mm etwa 5 min; soll die Eigenbewegung durch Lupenbeobachtung oder durch Projektion von Vergrößerungen auf dieselbe Diapositivplatte unmittelbar sichtbar sein, so braucht man auch die 6 schwächeren Sterne in unmittelbarer Umgebung von 61 (Fig. 2; 61 mit s bezeichnet). Dann ist die Belichtungszeit mindestens 15 min. — Die Anforderungen

¹ Vgl. diese Zeitschr. 48, 204f. (1935).² Vgl. diese Zeitschr. 37, 174, Fig. 2 (1924).

an die Aufstellung sind also gering und lassen sich nach früherer Darstellung¹ in kurzer Zeit erheblich genauer verwirklichen. Aber auch bei wesentlich schlechterer Aufstellung kann man in der kurzen Zeit von 5 min leicht durch entsprechenden Druck gegen das Rohr gut nachführen².

Zur Vermessung dient der früher beschriebene Meßtisch³. Es genügt ein einfaches Okularmikrometer für Mikroskope. Man vermißt etwa (Fig. 2) a/s , b/s , c/s , d/s . Ist das Mikrometer 10 mm lang, dann kann man stets zwei Sterne in einer Lage des Mikrometers vermessen; andernfalls muß es nach jeder Messung verschoben werden. Die Orientierung von Mikrometer und Sternen gegeneinander geschieht vorteilhaft mit einer Lupe von nicht weniger als etwa 60 mm Brennweite; zum Messen muß eine schärfere Lupe genommen werden. Mit einem Netzmikrometer zur Vermessung von Gestirnskoordinaten⁴ kann man natürlich bei einer Lage des Mikrometers alle 4 Messungen ausführen; man orientiert dann eine Strichrichtung parallel der Richtung a/b . — Die Vermessung ergab eine Verkleinerung des Abstandes a/s um 0,02 mm, für b/s eine Vergrößerung um 0,03 mm (vermutlich lokale Schichtverzerrung); c/s und d/s unverändert. — Vergrößerungen (etwa 7-fach) auf zwei Diapositivplatten ergeben entsprechend zusammengefügt (einfach aus zwei alten bikonvexen Brillengläsern von etwa 6 Dioptrien) deutlich einen Tiefeneffekt; nach M. WOLF genügt sogar schon 0,01 mm auf den Originalaufnahmen. Vergrößerungen auf Papier sind nicht so klar, und der Effekt bleibt durchaus zweifelhaft, wohl wegen zahlreicher Schichtverzerrungen.

Die Herstellung von Aluminium als Unterrichtsversuch.

Von R. Scharf in Berlin.

In den bekannten Vorbereitungsbüchern und den Zeitschriften findet sich bisher kein Versuch beschrieben, wie man die Herstellung des Aluminiums in der Schule zeigen kann.

Das in der Technik am meisten gebräuchliche Verfahren beruht auf der Elektrolyse von Aluminiumoxyd, das in geschmolzenem Kryolith aufgelöst ist. Die Reaktionsgefäße bestehen aus Eisen und sind mit Kohle ausgekleidet; sie dienen gleichzeitig als Kathode. Die Kohleauskleidung soll verhindern, daß das geschmolzene Aluminium Eisen aufnimmt; sie erhöht damit auch die Lebensdauer des Gefäßes. Als Anode dienen ein oder mehrere Kohleblöcke. Der an der Anode abgeschiedene Sauerstoff verbindet sich mit der Kohle zu Kohlendioxyd und Kohlenoxyd.

Um diese Arbeitsbedingungen auf Schulverhältnisse zu übertragen, waren mehrere Änderungen erforderlich:

1. Kryolith hat den Schmelzpunkt 1000°. Diese Temperatur ist in einem größeren Tiegel mit Schulmitteln, d. h. Gasbrenner oder einfachen elektrischen Öfen, nicht zu erreichen. Es mußte nach Zusätzen gesucht werden, die den Schmelzpunkt des Kryoliths herabdrückten; sie durften jedoch wiederum nicht das technische Verfahren zu sehr fälschen. Als geeigneter Zusatz erwies sich Aluminiumfluorid (500 g Aluminiumfluorid kosteten bei Schering-Kahlbaum RM. 2,90). Da Aluminiumfluorid ohnehin schon ein Bestandteil des Kryoliths ist, läßt sich vom methodischen Standpunkt aus sicherlich nichts gegen einen solchen Zuschlag einwenden. Ein Gemisch aus 1 Gew.-Teil Kryolith und 1 Gew.-Teil Aluminiumfluorid hat etwa den niedrigsten Schmelzpunkt, und zwar ist er ungefähr 800°, für unsere Verhältnisse also gerade noch erträglich.

2. Die Verwendung eines Graphit- oder Kohletiegels scheitert an der geringen Wärmeleitfähigkeit dieses Stoffes; selbst 800° lassen sich nicht im Innern des Tiegels

¹ Vgl. diese Zeitschr. 48, 204f. (1935).

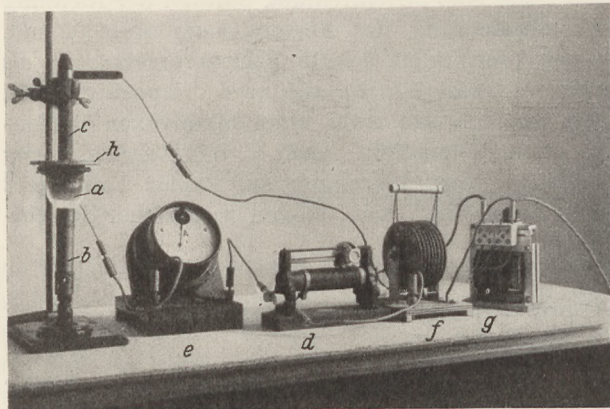
² Über Fadenkreuz und Beleuchtung vgl. diese Zeitschr. 48, 214 (1935).

³ Vgl. diese Zeitschr. 46, 146, Fig. 3 (1933). ⁴ Vgl. diese Zeitschr. 48, 206 (1935).

erzeugen, wenn man mit einem Gasbrenner heizen will. Ich nahm deshalb einen Eisentiegel, mußte dafür aber einen geringen Eisengehalt des erzeugten Aluminiums in Kauf nehmen. Für unsere Zwecke ist dies nicht von so großer Bedeutung, da es ja nicht darauf ankommt, möglichst korrosionsfestes Aluminium herzustellen, sondern überhaupt nur den technischen Verlauf durch einen einfachen Versuch zu klären.

3. Der für den Prozeß erforderliche Wärmehaufwand, der die Ausstrahlungsverluste decken muß, wird bei den größeren Abmessungen der Technik allein durch den elektrischen Strom geliefert. Wollte man im Schullaboratorium bei den viel kleineren Abmessungen und demnach verhältnismäßig größeren Ausstrahlungsverlusten diese elektrische Innenheizung verwenden, so käme man zu außerordentlich hohen Stromstärken, die im allgemeinen nicht zur Verfügung stehen und außerdem ein falsches

Bild von dem erforderlichen Stromaufwand geben. Wie schon angedeutet, wurde dieser Teil des Energiebedarfs dadurch gedeckt, daß mit einem Gasbrenner von außen geheizt wurde.



Versuchsanordnung zur Herstellung von Aluminium.

den Tiegel wirklich fest einsetzen zu können und auch um ihm eine gut elektrisch leitende Verbindung zu geben. Der Hals der Ringmuffe wird an einer vom Ring möglichst weit entfernten Stelle blank geschleutert und mit einer Stromzuführung aus blankem Kupferdraht fest umwickelt.

Die Ringmuffe wird in einer solchen Höhe am Stativ befestigt, daß der eingesetzte Tiegel von der Flamme eines darunter stehenden Brenners (b) gut umspült wird. Als Brenner eignen sich besonders Bornkessel-, Meker- oder Teklubrenner, also Brenner, die eine große und heiße Flamme geben.

Als Anode dient eine möglichst dicke, nicht zu kurze Bogenlampenkohle (c). Sie wird, zur elektrischen Isolierung gegen das Stativ in einem Kork gefaßt, mittels einer Stativklammer gleichfalls am Stativ befestigt. Das obere Ende wird mit einer Stromzuführung versehen, die gleichfalls aus blankem (wegen der Erwärmung durch den heißen Tiegel) Kupferdraht besteht.

Die beiden Stromzuführungen werden unter Zwischenschaltung eines Regulierwiderstandes (d) und eines Amperemeters (e) mit einer Gleichstromquelle verbunden (Tiegel = Kathode, Kohle = Anode!). Wer Gleichstrom aus dem Netz entnehmen kann, wird selbstverständlich die Schalttafel benutzen; ebenso selbstverständlich ist die Stromversorgung, wenn an das Drehstromnetz ein großer Gleichrichter oder Umformer angeschlossen ist, dessen Leitungen im allgemeinen über eine Schalttafel geführt werden.

Für diejenigen, die keine fest eingebaute Gleichstromversorgung besitzen, möchte ich bei dieser Gelegenheit auf den Selengleichrichter hinweisen, den VOLKMANN in dieser Zeitschrift 48, 202 (1935) bereits für andere Versuche empfohlen hat. Die Type für 8 Volt, 8 Ampere (f) schloß ich an die 12-Volt-Klemmen des Schultransformators (g) an. Ein dickdrähtiger Regulierwiderstand (d) von insgesamt 1Ω im

Gleichstromkreis gab die nötige Regulierfähigkeit. Die Regulierung ließe sich natürlich auch im Primärkreise des Transformators ausführen, nur müßte dann ein höherer Widerstand, der allerdings nicht so hoch belastbar zu sein braucht, genommen werden.

Ausführung des Versuchs.

In einer Porzellan-Reibschale werden gleiche Gewichtsteile gepulverter Kryolith und Aluminiumfluorid gut miteinander vermischt. Von diesem Gemisch werden 50 g in den Eisentiegel sehr fest eingestampft. Der Tiegel wird in den Stativring eingesetzt, mit einem Deckel verschlossen und durch den Brenner erhitzt. Der Tiegelinhalt kommt zum Schmelzen, die oberste Lage bleibt jedoch häufig als Kruste hängen; sie muß dann mit einer Stricknadel o. ä. in die Schmelze hinabgestoßen werden. In die flüssige Schmelze wird nun die Kohleanode eingetaucht, der Zwischenraum zwischen Anode und Tiegelboden soll nur einige Millimeter betragen.

Wenn jetzt der Strom eingeschaltet wird, so ist er häufig noch recht unregelmäßig, was sich in einem Hin- und Herpendeln des Amperemeterzeigers bemerkbar macht. Der Grund hierfür ist der, daß an der zunächst kalten Anode ein Teil der Schmelze erstarrt, die den Strom nicht leitet. Nach einiger Zeit wird der Strom schließlich gleichmäßig; man kann dies aber auch beschleunigen, wenn man die Anode für einige Augenblicke auf den Boden des Tiegels aufsetzt und wieder hochzieht. Der Strom wird auf eine Stärke von etwa 8 Ampere einreguliert.

In den ringförmigen Zwischenraum zwischen Anode und Tiegelwand werden jetzt etwa 5 bis 6 g reines Aluminiumoxyd in Pulverform, möglichst gleichmäßig verteilt, eingetragen. Das Oxyd sinkt in der Schmelze unter und löst sich auf.

Nachdem dies alles geschehen ist, wird der Tiegel durch eine kreisförmige, nach einem Durchmesser in 2 Teile geschnittene, dicke Asbestplatte (*h*) verschlossen, die in der Mitte eine Aussparung für die Anode besitzt. Die Pappe steht am besten etwa 2 cm über den Rand des Tiegels über, um die heißen Flammengase von der Anode und ihrer Stativklammer abzulenken. In diesem Zustande überläßt man die Elektrolyse für etwa 1 Std. sich selbst unter gelegentlicher Kontrolle der Stromstärke 8 Amp. (Damit ist schon angedeutet, daß der Versuch am besten im Anfang einer Doppelstunde angesetzt wird!)

Nach Ablauf dieser Zeit wird der Strom abgeschaltet und die Anode aus der Schmelze herausgezogen. Der noch glühende Tiegel wird sofort mit einer Zange gefaßt und bis etwa zur Hälfte für einige Sekunden in kaltes Wasser getaucht. Sobald die Schmelze in der Dicke einiger Millimeter an der Tiegelwand erstarrt ist, wird der Tiegel aus dem Wasser genommen und so lange sich selbst überlassen, bis er vollständig erkaltet ist. Durch diese Behandlungsart der Schmelze läßt sie sich aus dem Tiegel leichter entfernen. Dieser wird dann umgekehrt auf einen kleinen Amboß oder eine dicke Eisenplatte gelegt, und mit einem Hammer wird kräftig auf den Boden des Tiegels geschlagen, wodurch die erstarrte Schmelze in Stücken aus dem Tiegel gelöst wird.

Am Boden des Tiegels befindet sich eine dünne Schicht Aluminium; auch in der Schlacke sind viele Aluminiumkügelchen zu erkennen; die größten haben etwa 2 mm Durchmesser.

Einige dieser Kügelchen kann man in wenigen Tropfen verdünnter Salzsäure lösen; mit Salmiakgeist erhält man dann eine Fällung von Aluminiumhydroxyd.

Daß die Kügelchen sich in der Schmelze nicht zu einer einzigen Pfütze vereinigen, liegt natürlich an den geringen Mengen. Die Aluminiummenge, die durch den zugeführten Strom überhaupt im günstigsten Fall entstehen kann, berechnet sich folgendermaßen:

96 500 Amperesekunden geben ein Grammäquivalent, das sind $\frac{27}{3} = 9$ g Aluminium.

Durch eine Elektrolysedauer von 1 Std. bei 8 Amp sind $3600 \cdot 8 = 28800$ Ampere-sekunden geliefert worden, das würde der Aluminiummenge $\frac{9 \cdot 28800}{96500} = 2,7$ g entsprechen.

In der Technik rechnete man vor Jahren mit einer Stromausbeute von etwa 65%, in unserem Falle hätten wir also höchstens 1,8 g Aluminium zu erwarten. Auch diese Zahl dürfte wohl kaum erreicht werden, denn es ist klar, daß die Verhältnisse bei den kleinen Abmessungen, die wir verwenden müssen, noch ungünstiger liegen.

Für die Praxis.

Wirkungsweise der aktiven Kohle und Versuche zur Brandlöschung. Von Käte Regel in Berlin-Charlottenburg.

1. Versuch zur Erläuterung der Wirkung der Aktivkohle (Fig. 1)¹. Leuchtgas strömt aus der Hauptleitung in ein T-Rohr T_1 , das gleichzeitig mit einem Schnittbrenner B_1 und einer Benzol enthaltenden Gaswaschflasche F_1 verbunden ist.

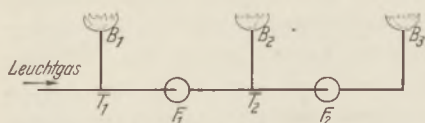


Fig. 1. Schema einer Versuchsanordnung zur Erläuterung der Wirkung von aktiver Kohle.

An F_1 ist ein zweites T-Rohr T_2 angeschlossen, das zu dem Schnittbrenner B_2 und zugleich zu der Flasche F_2 führt, in der sich Aktivkohle befindet. Mit F_2 ist der dritte Schnittbrenner B_3 verbunden. Entzündet man das Gas an den drei Brennern, so ist die Flamme bei B_1 nicht leuchtend, bei B_2 hell leuchtend und bei B_3 wieder nicht

leuchtend, bis zum Durchschlagen des Filters. Diese Versuchsanordnung bietet außer der Verwendung einfacher Hilfsmittel noch den Vorteil, daß man Leuchtgas statt Wasserstoff verwenden und drei Flammen gleichzeitig beobachten kann.

2. Einfaches Modell eines Minimax-Feuerlöschapparates². Eine kleine Druckflasche wird mit einem doppelt durchbohrten Stopfen versehen (Fig. 2). In die

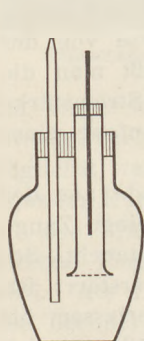


Fig. 2. Modell zur Erklärung des Minimax-Feuerlöschapparates.



Fig. 3. Einfaches Modell eines Schaumlöschers.

eine Bohrung kommt ein langes, am oberen Ende zur Spitze ausgezogenes Glasrohr von 3 bis 4 mm Weite, das fast bis auf den Boden der Flasche reicht. Die andere Bohrung trägt ein kürzeres, 15 mm weites, beiderseits offenes Rohr, dessen Rand am unteren Ende nach außen aufgebogen ist. Dieses Rohrende wird mit Hilfe von dünnem Bindfaden mit Pergamentpapier verschlossen. In das obere Ende kommt ein Stopfen, der in einer Bohrung einen Glasstab trägt. Dieser Stab ersetzt den Schlagstift des Minimaxlöschers und wird zweckmäßig am unteren Ende nicht abgerundet. Das weite Rohr mit dem Pergamentboden ist die Säure-Ampulle und wird mit Weinsäurepulver gefüllt, das in etwas Wasser aufgeschlemmt ist. Die Druckflasche wird etwa zur Hälfte mit einer gesättigten Lösung von doppeltkohlensaurem Natrium gefüllt. Nach Zusammenetzung des Apparats durch-

stößt man mit dem Glasstab das Pergamentpapier. Die sich beim Zusammentreffen des doppeltkohlensauren Natriums mit der Säure entwickelnde Kohlensäure übt einen so starken Druck aus, daß das Wasser aus dem zur Spitze ausgezogenen Rohr hoch herausspritzt.

3. Modell eines Schaumlöschers³. Ein widerstandsfähiger Glaszylinder von 45 mm Weite wird beiderseits mit Korken oder Gummistopfen verschlossen. In den Stopfen der unteren Öffnung ist ein kleiner Vorstoß oder ein kleiner Trichter luftdicht befestigt. Er dient zur Aufnahme von Aluminiumsulfatpulver. Der obere Stopfen besitzt eine Bohrung, durch die ein Trichterrohr bis fast zum unteren Stopfen geführt

¹ Vgl. R. SCHARF: Chemische Schulversuche zum Luftschutz. Z. physik. chem. Unterr. 47, 55 (1934).

² Vgl. H. RÖMISCH: Zwei Vorschläge zur Herstellung eines Minimaxfeuerlöschapparates. Z. physik. chem. Unterr. 46, 165 (1933). Ferner: H. PETZOLD und R. SCHARF: Versuche zum Luftschutz, S. 61/62. Leipzig-Berlin: B. G. Teubner 1935.

³ Vgl. auch PETZOLD-SCHARF, S. 64.

ist. Um den Apparat in Tätigkeit zu setzen, füllt man zunächst das Aluminiumsulfatpulver ein und setzt den Zylinder auf den unteren Stopfen fest auf. Dann füllt man mittels eines Trichters mit langem Rohr ungefähr 100 ccm gesättigte Natriumbicarbonatlösung und etwa 100 ccm einer Seifenholzabkochung ein. Endlich setzt man den oberen Verschlussstopfen auf. Durch einfaches Umkehren der Zusammenstellung mischen sich Salz und Flüssigkeit und geben Schaum und Kohlendioxyd, so daß der Schaum unter Druck entweicht. Man kann mit dem Apparat Benzol, das in einem Becherglase brennt, bequem löschen. Löst man das Aluminiumsulfat auf, so entsteht ein sehr starker Druck, der den Schaum weit in die Höhe schleudert.

Berichte.

I. Apparate und Versuche.

Farbenphotos als Lichtbilder für den Unterricht.
Von Prof. Dr. W. THEIM in Halle.

Vor nunmehr 30 Jahren tauchte die LUMIÈREsche Autochromplatte im Handel auf, ein technisches Wunder, das trotz der vielen Verbesserungen, die die deutsche Agfa-Colorplatte zäh erarbeitet hat, nicht wesentlich übertroffen worden ist. Wir besitzen in diesen sog. Rasterplatten und Filmen naturfarbige Diapositive von außerordentlicher Leuchtkraft, erstaunlicher Naturwahrheit und Farbenharmonie, und, falls sie sachgemäß hergestellt wurden, von solcher Transparenz, daß sie sich durch geeignete Bildwerfer mit den üblichen 500-Wattlampen selbst 100 Personen und mehr so eindrucksvoll vorführen lassen, daß es den Hörern zum Erlebnis wird. Die Bilder selbst kann heute jeder geübtere Liebhaber unschwer herstellen, und selbst kürzere Momentaufnahmen sind in der guten Jahreszeit möglich geworden. Ist es da nicht fast unbegreiflich, daß solche Bilder selbst in Hochschulen nur in Ausnahmefällen in den Unterricht Eingang gefunden haben, ja daß die Mehrzahl der Gebildeten sie überhaupt nie in ihrem Leben zu Gesicht bekommen hat? Und dabei ist ein überaus lebhaftes Bedürfnis für die Ergänzung des farblosen Lichtbildes durch das bunte zunächst überall dort vorhanden, wo die Form allein zur Darstellung nicht ausreicht, wie in den Fächern, die Natur und Kunst beschreiben. Welch unzureichender Ersatz ist ein farbloses Bild eines Kolibris, einer Orchis, eines Rubens, ganz abgesehen von den Fällen, wo Farbenunterschiede für die Bestimmung entscheidend sind. Ebenso wichtig ist aber die Farbe als Mittel dazu, Klarheit und Raumwirkung in einen Vorwurf hineinzubringen, wo die Schwarz-Weiß-Aufnahme der Plastik notwendigerweise entbehren muß, weil die in verschiedenen Ebenen liegenden Färbungen denselben Grauwert besitzen. Deshalb wirken Farbenbilder ganz allgemein viel plastischer, besonders aber Aufnahmen von Gesteinsformationen und von Tieren, die sich hier trotz der Schutzfärbungen deutlich vom Hintergrund abheben. Hierher fallen auch solche medizinischen Aufnahmen, die wegen der feinen Unterschiede im Rot sonst so unentwirrbar werden, daß sie nur als Stereobilder wirken. Hier versagt eben die schwarze Platte. Endlich sind noch die zahlreichen Fälle zu erwähnen, wo wir durch Anlegen mit

mehreren Farben Unterschiede in eine Darstellung hineintragen, um sie übersichtlicher zu machen, wie bei Landkarten und Tafeln oder bei mikroskopischen Präparaten, wo sich dem Auge durch die künstliche Anfärbung Tatsachen verraten, die ihm sonst verborgen bleiben müssen. Im schwarzen Diapositiv müssen sie aber verloren gehen. Man kann also wohl sagen, daß ein wahrer Hunger nach dem Farbenbild besteht, und es müssen sehr gewichtige Gründe dafür vorhanden sein, daß es erst neuerdings hier und da im Unterricht auftaucht. Der Zweck dieses Berichts ist nun, zu zeigen, daß heute die Zeit dafür gekommen ist, wenigstens in Hoch- und Fachschulen an die Einführung dieses unvergleichlichen Anschauungsmittels zu gehen.

Der wesentlichste Hinderungsgrund sei vorweg erörtert, nämlich die Unmöglichkeit, die etwa zehnmal so dichten Farbrasterplatten mit den üblichen Bildwerfern genügend hell projizieren zu können. Sinkt aber die Helligkeit unter einen gewissen Wert, so leidet nicht nur die Deutlichkeit, sondern es verschwindet auch die Farbwahrnehmung gemäß dem sog. PURKINJESchen Phänomen immer mehr, so daß in erster Linie auf die Lichtstärke Wert gelegt werden muß, während die Bildgröße dagegen eine untergeordnete Rolle spielt. Erst mit Gleichstrombogenlampen von 25 bis 30 Amp gelang es bei den älteren Typen, genügende Helligkeit zu erzielen, doch gefährdete die ungeheure Hitze die Bilder, die nur sehr kurze Zeit stehen bleiben durften, sollte die Schicht nicht verbrennen. Inzwischen erzwang die fast restlos vollzogene Umwandlung der Stadtnetze auf Wechselstrom zum Ersatz der Bogenlampe durch die viel bequemere und wirtschaftlichere Starkstromglühlampe, deren erheblich ausgedehntere Leuchtfläche lichtstärkere Anastigmaten bedingt, wollte man mit der Standardlampe zu 500 Watt dasselbe erreichen wie mit der Bogenlampe. So wurden die alten Typen gegen neue ausgetauscht, die dank der inzwischen gesammelten Erfahrungen den Lichtstrom so günstig leiten, wie es heute überhaupt möglich ist. Diese sonst vorzüglichen modernen Bildwerfer versagen aber leider ebenfalls bei den zu dichten Farbenplatten, es sei denn, daß man mit der Lampe auf die Entfernung 1,5 bis 2 m an den Schirm herangeht; aber dann versperren Vor-

führer und Lampe die Sicht für die besten Plätze. Eine wirkliche Lösung kann nur durch die Verwendung einer langen Brennweite von 40 bis 45 cm herbeigeführt werden, die bei etwa 6 m Lampenabstand genügend große und helle Bilder entwirft. Sie bringt außerdem noch den Vorteil eines nicht unbedeutenden Lichtgewinnes. Leider können aber an den vorhandenen Apparaten die Objektive nicht gegen derartige ausgetauscht werden, weil kein entsprechend langer Auszug vorhanden ist. Neben teuren Großapparaten gibt es nun zwei besonders für die Projektion von Farbenplatten gebaute wohlfeilere Bildwerfer, den *Avanti* von LIESEGANG und den Spezialbildwerfer von BUSCH. Beide ergeben mit der 500-Watt-Spiegellampe strahlend helle Bilder bis 1,5 m Größe unter Verwendung von Anastigmaten mit $f = 42$ cm, bei welcher langer Brennweite die Lampe sehr nahe an den Kondensor heranrückt, so daß ein viel größerer Leuchtwinkel ausgenutzt werden kann, falls, wie es hier geschieht, ein dreifacher Kondensor eingebaut wird. Andererseits entwirft die viel nähere Lampe ein weit größeres Bild der Wendeln im Objektiv, so daß das Öffnungsverhältnis 1 : 4 notwendig wird mit Linsendurchmessern, wie wir sie vom Epidiaskop gewohnt sind.

Der Bildwerfer von BUSCH zeichnet sich durch eine äußerst kräftige Bauart aus; er besitzt auch eine Kühlkuvette, die bei Füllung mit abgekochtem destillierten Wasser so wirksam schützt, daß der Vortragende überhaupt keine Rücksicht mehr auf die Erwärmung zu nehmen braucht. Natürlich verschluckt sie etwas Licht, so daß man sie nur in Ausnahmefällen benutzen wird. Versuche haben nämlich gezeigt, daß normal-dichte Autochrom- sowohl wie Agfa-Colorplatten selbst nach 10 Minuten keine Veränderung zeigten, während Colorfilme immerhin 4 Minuten ohne jeden Schutz stehen bleiben können. Eine Hartglasscheibe, die kaum merklich Licht kostet, schirmt die Wärmestrahlen sehr energisch ab, so daß es sich immer empfiehlt, sich ihrer zu bedienen, denn es kommen auch einmal sehr dichte Bilder zur Projektion, die sich natürlich viel stärker erwärmen.

Kommen wir nun zur Lampe, so spielt die Spannung in doppelter Hinsicht eine wichtige Rolle. Bekanntlich ist die Lichtausbeute bei gleicher absorbierter Energie um so besser, je niedriger die Spannung ist. Wir erhalten deshalb bei 220 Volt eine Lichtstärke von 800 Kerzen, bei 110 Volt aber von 1100 Kerzen. Schon aus diesem Grunde sollte man stets die 110-Voltlampe mit Vorschaltwiderstand bei 220 Volt Netzspannung verwenden. Hat man einen Regulierwiderstand, so kann man auch eine Unterspannung im Netz ausgleichen und bei sehr dichten Bildern vorübergehend mit Überspannung arbeiten. Die bessere Lichtausbeute der Niedervoltlampe rührt natürlich von der höheren Fadentemperatur her, die wiederum ein weißeres Licht erzeugt, ein Vorteil, der von wesentlicher Bedeutung ist; leidet doch die Farbgebung und besonders das Blau durch das gegenüber dem Tageslicht blauarme Nitralicht.

Nach dem Vorhergehenden ist es selbstverständlich, daß der Schirm rein weiß sein soll bei möglichst großem Reflexionsvermögen, welchen Forderungen allerdings die meist vorhandene vergilbte Leinwand gar nicht, die sog. silberne Wand dagegen in hervorragendem Maße entspricht. Freilich hat sie den Nachteil, die Lichtstärke nach der Mitte des Raumes auf Kosten der Seitenplätze zu erhöhen, aber es wird meist übersehen, daß die Bilder von dort aus nicht dunkler erscheinen als auf dem Leinenschirm. Die meisten Zuschauer können aber dafür einen erheblichen Lichtgewinn buchen. Der Silberschirm gibt jedoch vor allem die Farben und besonders das Blau so prachtvoll wieder, daß die Rücksicht auf ein paar benachteiligte Seitenplätze keinesfalls den Verzicht auf die Schönheit der Wiedergabe rechtfertigt. Man kann den Silberstoff als fertigen Schirm oder meterweise kaufen und als Rollvorhang verwenden. Sehr billig kann man sich einen Silberschirm verschaffen in Form der sog. Reklamekartons, die 30 Rpf bzw. größer nur 50 Rpf kosten und notfalls mit Reißzwecken auf der Tafel aneinanderstoßend so befestigt werden können, daß eine größere Fläche entsteht. Auch für Schmalfilmvorführungen, wo es ebenfalls auf eine recht helle Darstellung ankommt, ist ein solcher Karton ein idealer Schirm. Muß man Farbenplatten abwechselnd mit gewöhnlichen Dias projizieren, so lasse man diese womöglich gleich auf mattierte Platten oder Filme kopieren oder schiebe mit dem Bild einen abgewaschenen Mattfilm ein.

Geeignete Projektionseinrichtungen stehen uns also heute zur Verfügung, so daß wir uns den übrigen Hemmungen zuwenden können. Und da taucht denn die peinliche Frage auf: wo kann man die erforderlichen Lichtbilder beziehen? Leider nirgends. Bekanntlich lassen sich Farbrasterplatten nur unter so empfindlicher Einbuße an Brillanz vervielfältigen, daß die Lieferfirmen von Lichtbildern lieber davon absehen, sie anzubieten. Wären die Platten getreu kopierbar, so würden sicher ganze Serien wichtiger Objekte käuflich sein. Daher gibt es nur die mit dem umständlichen und nicht zwangsläufigen Dreifarbenverfahren gewonnenen Uvachromien, die recht teuer sind und an Farbentreue zu wünschen übrig lassen müssen. Da es also keine käuflichen Bilder gibt, muß man sie selbst anfertigen, und das tun viele Institute laufend, besonders medizinische in Form von Krankheitsbildern und farbigen Mikroaufnahmen, die ja auch die Mineralogen, Zoologen, Botaniker, Landwirte usw. benötigen, und die noch viel häufiger hergestellt werden würden, wenn man sich der Projektionsmöglichkeit und der Einfachheit der Herstellung bewußt wäre. Diese ist heute ungemein viel sicherer geworden, seitdem die Nitralampe als ideale Lichtquelle bereitsteht und die Klippe der richtigen Belichtungszeit durch optische und elektrische Meßinstrumente nicht mehr besteht. Die durchaus zwangsläufige Entwicklungstechnik ist leicht zu erlernen, so daß ein sorgfältiger Arbeiter seine Lichtbilder ohne empfindlichen Ausschuß selbst aufnehmen kann.

Während nun die Farben bei Nitalicht ohne Filter richtig wiedergegeben werden, muß man bei Reproduktionen einige Regeln beachten, falls man bei Farbendruck, Karten usw. einen weiß erscheinenden Hintergrund erzielen will, doch ist dies durch eine geeignete Technik durchaus möglich¹.

Endlich darf nicht verschwiegen werden, daß der Preis des Farbaufnahmestoffes nicht ohne Schuld ist an ihrer geringen Verbreitung. Aber auch hier liegen die Verhältnisse jetzt besser, seitdem es den Color-Planfilm gibt, der etwa die Hälfte der Platte kostet. Damit betragen die

¹ Es sei auf einen diesbezüglichen Aufsatz in der „Photographischen Rundschau“ verwiesen.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Die Sekundäreffekte der kosmischen Ultrastrahlung. Von R. PYRKOSCH in Breslau.

Die Untersuchungen über die Sekundäreffekte der kosmischen Ultrastrahlung gehen zum großen Teil auf Versuche von B. ROSSI in den Jahren 1932 und 1933 zurück (1; 2), die in den Berichten dieser Zeitschrift bereits erwähnt wurden (3). Er verwandte dabei 3 Zählrohre mit parallelen horizontalen Achsen, die nicht in einer Ebene lagen, sondern ein Dreikant bildeten, so daß eine gleichzeitige oder Koinzidenzentladung der 3 Rohre nicht durch einen einzigen Strahl erfolgen konnte, sondern deren mindestens zwei bedurfte.

Die Zahl dieser 3fachen Koinzidenzen, die schon bei nicht abgeschirmter Anordnung der Rohre vorhanden war, vermehrte sich beträchtlich, wenn eine Bleiplatte über den Rohren angebracht wurde, was am einfachsten so zu deuten war, daß ein ionisierender Primärstrahl die Bleiplatte und zwei Rohre durchsetzte, während ein von ihm in dem Blei erzeugter Sekundärstrahl durch das dritte ging.

Eine besondere Bedeutung erlangte dabei die Kurve, die die Zahl der 3fachen Koinzidenzen je Stunde in ihrer Abhängigkeit von der Dicke der Bleiplatte wiedergibt und als ROSSISCHE Koinzidenzkurve bekannt ist. Sie zeigt einen raschen Anstieg von 0 bis 1,5 cm Dicke, der von einem etwas langsameren Abfall gefolgt wird, und ist typisch für die sog. Übergangseffekte der kosmischen Ultrastrahlung, von denen auch in diesen Berichten früher die Rede war (3). Als Erklärung wurde angenommen, daß es sich hier um zwei einander entgegenwirkende Vorgänge handelt, nämlich einmal um die Erzeugung von Sekundärstrahlen durch Primärstrahlen auf ihrem Wege durch das Blei und zweitens Schwächung beider Strahlungen durch Absorption im Blei. Solange die erste überwiegt, steigt die Kurve an und fällt, wenn die zweite vorherrscht.

Indessen war der Abfall stärker, als nach der bekannten Durchdringungsfähigkeit der kosmischen Primärstrahlung zu erwarten war, und es erschien daher angezeigt, die die Strahlung im Blei auslösende Strahlung erst einmal näher zu untersuchen. Schon ROSSI hatte einen Versuch

Materialkosten nur etwa das Doppelte eines Diapositivs und des zugehörigen Negativs.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß endlich die Zeit gekommen ist, den Vortrag durch Farbaufnahmen auf das Wirksamste zu beleben. Der Naturforscher kann seine Tiere und Pflanzen in aller Farbenpracht zeigen, der Kunstgelehrte nicht nur den Stift, sondern auch den Pinsel sprechen lassen, der Kunstgewerbler seine Schöpfungen in allen ihren Reizen zeigen und der Geograph aus der Deutlichkeit kolorierter Karten Nutzen ziehen. An der Universität Halle, wo sich das photographische Institut besonders um die Einführung des farbigen Lichtbildes bemüht hat, wächst die Nachfrage danach von Halbjahr zu Halbjahr.

gemacht, zu entscheiden, ob diese Strahlung ionisierend sei oder nicht, indem er bei seiner Dreikantschaltung die Bleiplatte nicht nur über dem obersten Rohr, sondern auch zwischen diesem und den beiden unteren anbrachte. Wenn die auslösende Strahlung nicht ionisierte, war zu erwarten, daß im zweiten Falle keine oder fast keine 3fachen Entladungen stattfänden unter der Voraussetzung, daß die Sekundärstrahlen nicht rückgestreut würden. Er fand aber mit der Bleiplatte über dem obersten Rohre 14,1, mit ihr zwischen den Rohren 10,2 und ohne die Platte als Nulleffekt 6,75 je Stunde, also im zweiten Falle wohl weniger als im ersten, aber doch noch so viel, daß er keine Entscheidung zu treffen wagte. Wie schon im letzten Bericht erwähnt (4), sind diese Versuche von T. H. JOHNSON wiederholt worden (5). Er fand im ersten Falle 322, im zweiten 182 und im dritten 61 Koinzidenzen je Stunde und schloß daraus, daß die meisten auslösenden Strahlen ionisierend seien.

Schließlich sind dieselben Versuche von H. GEIGER und E. FÜNFER ausgeführt worden (6). Sie fanden mit der Streuplate oben 14,0, mit ihr zwischen 7,5 und ohne sie 6,0 Koinzidenzen je Stunde, also im ersten Falle 8 zusätzliche gegenüber dem Nulleffekt, die nur von Sekundärvorgängen in dem Blei her stammen können, während im zweiten der Zuwachs gegen den Nulleffekt klein ist und die Meßfehlergrenze nur wenig überschreitet. Es erscheint ihnen daher gesichert, daß die auslösende Strahlung nicht ionisiert.

Zu demselben Ergebnis kam J. CLAY mit einer anderen Zusammenstellung von Zählrohren und Streubleikörper (7) (Fig. 1). Die Zählrohre 1 und 2 mit einem Durchmesser von 1 cm, und die Rohre 3, 4, 5 mit einem von 2 cm sind so aufgestellt, daß kein Strahl zugleich durch 1 und 2 und eines der Gruppe (3 4 5) gehen kann. Die

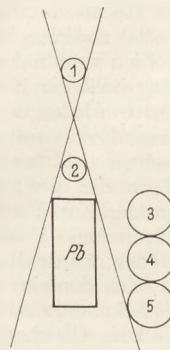


Fig. 1. Zählrohranordnung von CLAY.

Rohre 3, 4, 5 sind miteinander parallel und mit 1 und 2 in Reihe geschaltet. Eine Koinzidenz konnte folglich im allgemeinen nur dadurch zustande kommen, daß ein ionisierender Strahl aus der Luft durch 1 und 2 geht und ein von ihm im Blei ausgelöster Sekundärstrahl durch ein Rohr von (3 4 5). Die in der Stunde erhaltene Zahl von Koinzidenzen war 30 mit dem Bleikörper und 26 ohne ihn, was mit Rücksicht auf die Genauigkeitsgrenzen dasselbe ist. Wurden dagegen 1 und 2 senkrecht unter den Bleikörper gestellt, so waren die entsprechenden Zahlen 47 und 16. Wenn in diesem Falle eine Koinzidenzentladung im allgemeinen dadurch hervorgebracht worden wäre, daß ein aus der Luft kommender ionisierender Strahl das Blei und 1, 2 durchsetzte und ein von ihm im Blei ausgelöster Sekundärstrahl (3 4 5), so hätte das Ergebnis im wesentlichen dasselbe sein müssen wie mit 1, 2 über dem Blei. Es bleibt folglich nur übrig, daß ein aus der Luft kommender nicht ionisierender Strahl im Blei Sekundärstrahlen erzeugt, von denen mindestens einer durch 1, 2 und mindestens ein anderer durch (3 4 5) geht.

Mit dem Charakter dieser Strahlung und der von ihr im Blei ausgelösten hat sich ferner J. H. SAWYER eingehend beschäftigt (8). Er benutzte die Rossische Dreikantschaltung mit der Streuplatte zwischen dem oberen und den unteren Rohren und nahm die Kurve auf, die die Abhängigkeit der Koinzidenzzahl von der Dicke der Platte wiedergibt. Sie ergab sich ähnlich der Rossi-Kurve mit der Platte über allen Rohren, und er zieht aus ihrem Aussehen Folgerungen. Wenn die Dreifachkoinzidenzen von Sekundärstrahlen aus dem Blei herrührten, die durch die kosmischen Primärstrahlen in ihm ausgelöst werden, würde die Kurve einen andern Charakter, nämlich den einer Sättigungskurve haben, indem die Sekundärstrahlung mit zunehmender Bleidicke bis zum Gleichgewicht mit der Primärstrahlung wachsen und dann sehr langsam mit deren Absorption abnehmen würde. Die wirklich beobachtete Kurve mit dem verhältnismäßig schnellen Abfall nach dem höchsten Punkte kann dagegen durch die Annahme erklärt werden, daß die im Blei erzeugten Strahlen nicht sekundär, sondern tertiärer Natur sind und nicht von der kosmischen Primärstrahlung direkt, sondern von Sekundärstrahlen ausgelöst werden, die von ihr in leichteren Stoffen der Umgebung wie der Luft hervorgebracht worden sind. Dann ist das Aussehen der Kurve darauf zurückzuführen, daß sie erst ansteigt infolge des Aufbaues der Tertiärstrahlung zum Gleichgewichtswert und dann ziemlich steil abfällt wegen der Absorption der Sekundärstrahlung im Blei, die erheblich stärker ist als die der Primärstrahlung.

Außer dem Maximum der Koinzidenzzahl bei 1,6 cm Bleidicke fand SAWYER noch ein zweites kleineres bei großen Bleidicken, das auch von M. ACKEMANN festgestellt worden ist (37). Einen Anstieg der Sekundärstrahlung von 8 cm Plattendicke bis zur größten verwendeten von 18 cm mit Eisen als Streumaterial und 2 Zählrohren übereinander hatte auch H. MAASS gefunden (38).

Ebenso kommt H. J. BHABA bei der Erörterung der Rossischen Messungen in einer bereits im letzten Bericht erwähnten Arbeit (9) zu dem Schluß, daß die im Blei ausgelösten Teilchen von einer Sekundärstrahlung erzeugt werden. Wenn letztere durch die Primärstrahlung in der Luft ausgelöst wurde, war anzunehmen, daß diese auch im Blei eine Sekundärstrahlung erzeugen würde, die ihrerseits wieder eine besondere Tertiärstrahlung im Blei zur Folge haben würde, so daß die Erscheinungen sehr verwickelt zu werden drohten. Deshalb hat SAWYER die im Blei und Aluminium von der kosmischen Primärstrahlung verursachte Sekundärstrahlung näher untersucht, indem er über dem oberen Zählrohr einen 7 cm dicken Bleiblock oder einen 15,5 cm dicken Block aus Aluminium anbrachte und so die Luftsekundärstrahlen völlig abschnitt und durch Pb oder Al Sekundärstrahlen ersetzte. Das Ergebnis war, daß die im Blei ausgelösten Sekundärstrahlen geringere Energie haben als die in leichteren Stoffen wie Luft und Aluminium und die im Blei von ihnen ausgelösten Tertiärstrahlen ebenso im Vergleich zu den von den Luftsekundärstrahlen erzeugten, so daß sie im allgemeinen zu vernachlässigen sind.

Die Nebelkammeraufnahmen von BLACKETT und OCCHIALINI, MILLIKAN, ANDERSON u. a., von denen im letzten Bericht dieser Zeitschrift bereits die Rede war (10), hatten die Anschauungen weiter geklärt, indem sie die tertiäre Strahlung als Elektronenschauer erkennen ließen, die von Punkten der Wandung oder Umgebung herkamen. Dabei zeigte sich bei Kammern, in deren Mitte eine Bleischeidewand angebracht war, daß sich nicht selten aus dieser unten ein Zwillingsspaar oder auch ein Schauer von mehr Strahlen löslöste, ohne daß ein auslösender Strahl in der oberen Hälfte zu sehen war, wodurch der nicht ionisierende Charakter des letzteren außer Zweifel gesetzt wurde. Bei dieser Gelegenheit wurde das positive Elektron entdeckt und bemerkt, daß die Zwillingsschrauben aus je einem negativen und positiven Elektron bestanden. Indem man solche Zwillingsspaare auch als die Elemente eines Schauers von mehr als zwei Strahlen auffaßte, kam man zu der Vorstellung, daß die kosmischen Primärstrahlen, von denen mindestens ein größerer Teil als korpuskular erkannt worden war, in Luft oder anderen Stoffen eine sekundäre Wellenstrahlung auslösen, die beim Durchgang durch das Streublei von Atomkernen absorbiert wird, die dafür Elektronenzwillinge aussenden.

Da diese Elektronen nach Richtung und Energie als inhomogen zu betrachten waren, konnte ihre Absorption nach Erfahrungen auf radioaktivem Gebiete gemäß einem Exponentialgesetz erwartet werden.

Bezeichnet man dessen Koeffizienten mit μ , den der Wellenstrahlung mit ν , wobei $\mu > \nu$ angenommen wurde, so konnte die Zahl der je Zeiteinheit aus einer Streuschicht der Dicke x austretenden Strahlen annähernd ausgedrückt werden durch $N = \text{const} \cdot \frac{\nu}{\mu - \nu} \cdot (e^{-\nu x} - e^{-\mu x})$, wenn man

bedenkt, daß die austretende Strahlung bedingt ist durch die Absorption der Sekundärstrahlung im Blei im positiven und der entgegenwirkenden Absorption der Tertiärstrahlung im negativen Sinne. Aus der Koinzidenzkurve ergab sich dann ungefähr $\nu = 0,5 \text{ cm}^{-1} \text{ Pb}$ und $\mu = 1,2 \text{ cm}^{-1} \text{ Pb}$ entsprechend einer mittleren Reichweite der Elektronen von $\frac{1}{\mu} = 0,8 \text{ cm Pb}$.

An diesem Punkte setzt die bereits oben erwähnte Arbeit von GEIGER und FÜNFER ein (6), der die letzte Gleichung entnommen ist. Die beiden Forscher weisen dabei auf Unstimmigkeiten zwischen diesen Zahlen und Untersuchungen von H. BETHE und W. HEITLER hin, die auf wellenmechanischer Grundlage die Absorptionskoeffizienten für energiereiche Photonen sowie die Reichweiten ebensolcher Elektronen berechnet haben (11). Nach ihren Ergebnissen entspricht eine mittlere Reichweite von $0,8 \text{ cm Pb}$ der Energie $20 \cdot 10^6 \text{ e-Volt}$, während nach der überwiegenden Zahl der bei Nebelkammeraufnahmen beobachteten Elektronen eine fast 10mal so große zu erwarten gewesen wäre. Außerdem folgt aus ihnen, daß zu einer Elektronenenergie $20 \cdot 10^6 \text{ e-Volt}$ ein mindestens doppelt so großer Koeffizient der erzeugenden Wellenstrahlung gehört als der angenommene zu $0,5 \text{ cm}^{-1} \text{ Pb}$. Deshalb kehren sie den Sachverhalt um und erteilen den Elektronen den Koeffizienten $0,5$ und damit eine mittlere Reichweite von 2 cm Pb und der Wellenstrahlung den Koeffizienten $1,2$, so daß diese stärker absorbiert wird. Diese Vertauschung ist mit den experimentellen Ergebnissen verträglich, da sich durch sie in dem Ausdruck für N nur die Konstante vor der Klammer ändert. Dann ist nach BETHE und HEITLER die Quantenenergie der Wellenstrahlung rund $300 \cdot 10^6$ und die mittlere Energie der Elektronen fast $200 \cdot 10^6 \text{ e-Volt}$ in Übereinstimmung mit den schnellen Elektronen der Nebelkammern. Ferner ist bei der Rossi-Kurve der rasche Anstieg nun so zu verstehen, daß die Wellenstrahlung schon in geringen Schichtdicken völlig absorbiert wird, während der langsamere Abfall durch das größere Durchdringungsvermögen der Elektronen bedingt ist.

Wie schon von ROSSI und FÜNFER festgestellt worden war, ist die Koinzidenzzahl bei der Rossschen Dreikantanordnung von dem Material unter den Zählrohren abhängig. Nach FÜNFER erhält man rund 20% mehr Koinzidenzen, wenn man unter oder neben die Rohre Bleiplatten stellt (12). Der Effekt hängt von der Bleidicke ab und erreicht bei 6 cm den höchsten Wert, wobei dieser von der Dicke der oberen Bleischicht mitbestimmt wird. Der Boden- und Seiteneffekt werden also nicht unmittelbar durch die Primärstrahlung verursacht, sondern auf dem Umweg über eine in dem oberen Blei erregte sekundäre.

Wenn nach GEIGER und FÜNFER die kosmische Primärstrahlung mit A, die in der Luft von ihr erzeugte Wellenstrahlung mit B und die von dieser in der oberen Bleiplatte ausgelöste Elektronenstrahlung mit C bezeichnet wird, so ist wenig wahrscheinlich, daß es sich bei dem Boden-

und Seiteneffekt um eine Streuung der C-Teilchen handelt, da diese bei so energiereichen Elektronen viel zu gering ist. Dagegen kann zur Erklärung die Bremsstrahlung dienen, die nach BETHE und HEITLER die Absorption solcher Elektronen wesentlich bedingt. Diese von GEIGER und FÜNFER mit D bezeichnete Strahlung löst nun wieder in dem Boden- und Seitenmaterial eine aus Photo- und Comptonelektronen bestehende Strahlung E aus, so daß aus ihm D-Quanten und E-Elektronen austreten und zusätzliche Koinzidenzen veranlassen werden. Gegen eine Rückstreuung der D- und E-Strahlen besteht im Gegensatz zu den C-Elektronen kein Bedenken, weil ihre mittlere Energie viel geringer ist. Die Gesamtheit der durch ein B-Quant bei seiner Absorption durch einen Atomkern ausgelösten C-, D- und E-Strahlen wird nun bestimmter als ein Schauer bezeichnet.

Die Koinzidenzentladungen bei der Dreikantschaltung mit der Streuplatte über ihr dürften daher nur zum Teil den C-Elektronen, im übrigen der mitwirkenden diffusen D- und E-Strahlung zuzuschreiben sein, wodurch nun auch erklärt wird, warum die Zahl der Koinzidenzen in weiten Grenzen von der gegenseitigen Lage der Zählrohre unabhängig ist, wie besonders von O. ZEILLER untersucht wurde (13). Aus demselben Grunde ist zu verstehen, daß FÜNFER, der ein oberes und vier untere Rohre verwandte, mit Dreifachkoinzidenzen zugleich 5fache beobachtete.

Die Verfasser sehen ferner eine Bestätigung ihrer Ansichten in den Ergebnissen der Versuche von SAWYER, von denen oben die Rede war. Bei ihm war ja die Streuplatte, in der die C-Elektronen entstehen, nicht über dem oberen Rohre, sondern unter ihm angebracht, so daß eine 3fache Entladung nur so zustande kommen kann, daß aus der Platte ein D-Quant oder E-Elektron zurückstrahlt und das obere Rohr durchsetzt, während gleichzeitig die unteren Rohre von C- oder E-Elektronen entladen werden. Im Einklang mit dieser Auffassung findet SAWYER statt der Höchstzahl 50 mit der Bleiplatte oben nur 8 Koinzidenzen je Stunde, und da bei ihm der Einfluß der weicheren D- und E-Strahlung entscheidend ist, tritt dieses Maximum bei $0,8$ statt $1,5 \text{ cm}$ Bleidicke auf.

Wie BOTHE und KOLHÖRSTER zuerst festgestellt haben und nachher besonders ROSSI, finden Koinzidenzentladungen bei zwei senkrecht übereinanderliegenden Zählrohren auch dann noch statt, wenn bis 1 m dicke Bleischichten zwischen sie gebracht werden (14, 15). Sie wurden Primärstrahlen zugeschrieben, die die ganze Bleimasse durchdringen und durch ihre ionisierende Wirkung die Rohre entladen. Dagegen sind ANDERSON und MILLIKAN der Meinung, daß bei so dicken Bleischichten Koinzidenzen nicht durch einen einzigen Strahl, sondern nur auf Umwegen über Sekundäreffekte entstehen könnten, da auf Nebelkammeraufnahmen, die nach dem Verfahren von BLACKETT und OCCHIALINI durch Zählrohrkoinzidenzen ausgelöst wurden, ein die beiden Rohre verbindender Strahl nicht zu sehen war.

Um diese Frage zu entscheiden, benutzte A. SCHWEGLER drei senkrecht übereinanderliegende Zählrohre 1, 2, 3, zwischen denen zwei 10 cm dicke Bleiblöcke angebracht waren (Fig. 2) (16). Das Rohr 2 konnte in die Stellungen 2' und 2'' verschoben werden. Während nun bei der Anordnung 1 2 3 etwa 50 Koinzidenzen in der Stunde auftraten, sank diese Zahl für die Anordnungen 1 2' 3 und 1 2'' 3 auf einen an der Meßfehlergrenze liegenden Wert von 1 bis 2 herab, woraus zu schließen ist, daß bei weitem die meisten Koinzidenzen bei 1 2 3 durch einen einzigen ionisierenden Strahl zustande kommen, der wegen seiner großen Durchdringungskraft nur ein Primärstrahl sein kann. Entsprechende Versuche mit noch größeren

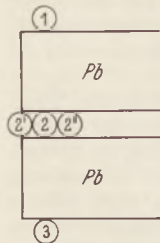


Fig. 2. Zählrohranordnung von SCHWEGLER.

Rohrabständen von etwa 1 m sind mit demselben Erfolge von ROSSI und BOTTECCHIA ausgeführt worden (17).

Diese Versuchsanordnung wurde von J. C. STREET, R. H. WOODWARD und E. C. STEVENSON dahin abgeändert, daß der untere Bleiblock durch eine Nebelkammer ersetzt wurde (18). Nach der Auffassung von ROSSI sollten dann die von den Zählrohrkoinzidenzen gesteuerten Wilsonaufnahmen in der Mehr-

zahl einzelne Spuren aufweisen, die nach den einschließenden Rohren und dem Bleiblock gerichtet sind, während sie nach MILLIKAN und ANDERSON fehlen würden. Es wurden 112 Aufnahmen mit einer 45 cm dicken und 107 mit einer 15 cm Bleischicht gemacht. Von den ersteren zeigten 101 oder 90% die gesuchte Einzelspur, von den letzteren ebenfalls 101 oder 94%, so daß offenbar die Ansicht von ROSSI die richtige ist.

Verlieren Elektronen beim Durchgang durch Materie Energie nur durch Ionisation und Streuung, so ist die Absorption in massegleichen Schichten verschiedener Stoffe als nahezu dieselbe zu erwarten. Dagegen sind nach BETHE und HEITLER für Elektronen hoher Energie, deren Verlust hauptsächlich durch Ausstrahlung bedingt ist, leichte Elemente besonders durchlässig, so daß z. B. Elektronen von $100 \cdot 10^6$ e-Volt erst durch etwa 10 cm Al so stark absorbiert werden wie durch 1 cm Pb, während an Masse schon 4,2 cm Al und 1 cm Pb gleichwertig sind.

Diese theoretischen Ergebnisse an den C-Elektronen zu bestätigen, war eines der Ziele der schon erwähnten Arbeit von ZEILLER (13).

Es wurde wieder die Dreikantschaltung mit einer Bleiplatte S von 1,6 cm Dicke über den Rohren gewählt, aber so, daß die Spitze des gleichschenkligen Querschnittsdreiecks nach unten lag, und eine Absorberplatte A zwischen die oberen Rohre und das untere gebracht (Fig. 3). Dabei zeigte sich eine erhebliche Abhängigkeit der Absorption von der Breite dieser Platte und ihrer Lage zwischen den Rohren, indem sie bei derselben Dicke scheinbar weniger absorbierte, wenn sie breiter genommen oder höher an die oberen Rohre herangebracht wurde, was sich dadurch erklärte,

daß in beiden Fällen dem unteren Zählrohr mehr Strahlen vom Absorber zugestreut werden. Führt man also Messungen aus, indem man dicht über dem unteren Rohre Schichten wachsender Dicke einschaltet, so werden sich die höheren Teilschichten immer weniger an der Absorption beteiligen. Folglich muß man, um Stoffe sehr verschiedener Dichte in Bezug auf ihre Absorption zu vergleichen, diese gleich breit wählen und den dichter in getrennten Teilschichten so anordnen, daß beide denselben Raum einnehmen. Solche Messungen wurden mit Pb und Al ausgeführt, wobei eine 10 cm dicke Al-Schicht verwendet wurde. Da sie einer Pb-Schicht von demselben Querschnitt und 2,4 cm Dicke gleichwertig ist, wurden 6 Schichten Pb von je 0,4 cm Dicke in gleichen Abständen zu je 1,5 cm als Absorber aufgebaut. Es ergab sich dieselbe Durchlässigkeit für beide Absorber, was bereits ROSSI von Pb und Fe gefunden hatte, während nach BETHE und HEITLER Al merklich durchlässiger hätte sein sollen als Pb.

Im Gegensatz hierzu hat J. PRIEBSCHE Fe im Sinne von BETHE und HEITLER durchlässiger gefunden als Pb (15). Seine Versuche fanden auf dem Hafelekar bei Innsbruck in 2300 m Höhe und in Innsbruck selbst statt. Da die Zahl der Schauer mit der Höhe stark zunimmt, ist ein hochgelegener Ort sehr geeignet, namentlich wenn er wie das Hafelekar ein für Versuche dieser Art besonders ausgerüstetes Laboratorium besitzt. Es wurde wieder die Dreikantschaltung der Zählrohre benutzt, die zur Vermeidung zu großer Koinzidenzzahlen und zur Herabsetzung der Zahl zufälliger Koinzidenzen von einem 7 cm starken Fe-Panzer umgeben war. Auf diesen wurde eine Streuplatte aus Pb oder Fe gelegt und mit dieser durch Veränderung ihrer Dicke die Kurve der Koinzidenzzahlen sowohl oben auf dem Kar wie unten in Innsbruck aufgenommen, jeder Meßpunkt durch Mittelungen von durchschnittlich 500 Koinzidenzen.

Da sich nach GEIGER und FÜNFER in dem abfallenden Teile der Kurven die Absorption der C-Strahlung widerspiegelt, berechnet er aus ihnen den Koeffizienten für Pb und Fe und findet aus beiden $0,235 \text{ cm}^{-1}$ Pb und $0,070 \text{ cm}^{-1}$ Fe. Demnach wäre Fe durchlässiger als Pb in höherem Maße als massenproportional, denn 1 cm Pb würde mit 1,45 cm Fe gleichwertig sein, während sich bei der Absorption $0,235 : 0,070 = 3,3 \text{ cm}$ Fe ergaben.

In einer Arbeit von GEIGER und ZEILLER (20) wird die Zählrohdreikantschaltung mit Streuplatte über dem oberen Rohr und Absorberplatte über den beiden unteren dazu verwendet, die Durchdringungsfähigkeit der D-Strahlung zu bestimmen. Dabei wurde noch ein Bleiblock unter die Absorberplatte zwischen die beiden unteren

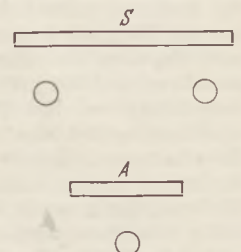


Fig. 3. Dreikantschaltung von ROSSI mit Streu- und Absorberplatte.

Rohre gestellt, der die in jener ausgelöste und seitlich gestreute D-Strahlung absorbierte, so daß z. B. bei einer 0,4 cm dicken Absorberplatte und 5 cm dickem Bleiklotz die Absorption mit diesem 68%, ohne ihn nur 31% der ohne Absorberplatte vorhandenen Intensität betrug. Außer dem Pb-Klotz wurde noch einer aus Al verwendet. Indem die Dicke der beiden Klötze geändert, die der Streu- und Absorberplatte konstant erhalten wurden, ergaben die Absorptionsmessungen als mittleren Koeffizienten der D-Strahlung etwa $0,3 \text{ cm}^{-1}$ Al und 1 cm^{-1} Pb, so daß sie in ihrer mittleren Härte zwischen den beiden Komponenten der RaC-Gammastrahlung steht, deren Koeffizienten zu 0,5 und $1,5 \text{ cm}^{-1}$ Pb angegeben werden.

Die Arbeit setzt es sich ferner zum Ziel, die Zahl von Schauern abzuschätzen, die aus einem Bleiblock je Stunde und cm^2 austreten, und die Zahl der Strahlen, aus denen ein solcher Schauer besteht. Um die erste Zahl zu erhalten, wurden die Zahlen der 3- und 4fachen Koinzidenzen bei einer Anordnung, wie sie Fig. 4 zeigt, miteinander verglichen. Es wurden gleichzeitig die Koinzidenzen 1 2 3 4 und 1 2 4 gezählt und als Stundenmittel bei 15stündiger Registrierungszeit 20,1 und 54,0 gefunden; ebenso ergaben sich bei gleichzeitiger Zählung je Stunde 18,7 Koinzidenzen 1 2 3 4 und 43,1 bei 234. Dabei befand sich eine 1,5 cm dicke Bleischicht von 20 cm Breite und 40 cm Länge über den Rohren. Ohne diese waren die entsprechenden Zahlen 3,2 und 16,8; 2,7 und 23,5. Die Differenzen von je zwei einander entsprechenden Zahlen mit und ohne Blei sind ein Maß für die in ihm erregten Sekundärstrahlen allein, nämlich bei 1 2 3 4 und 1 2 4 die Zahlen 16,9 und 37,2; bei 1 2 3 4 und 2 3 4 die Zahlen 16,0 und 19,6. Macht man nun die Annahme, daß die Ansprechwahrscheinlichkeiten W_1 bis W_4 der Rohre beim Auftreten eines Schauers voneinander unabhängig sind, so sind die Wahrscheinlichkeiten für die Koinzidenzen 1 2 3 4 und 1 2 4 gegeben durch $W'''' = W_1 \cdot W_2 \cdot W_3 \cdot W_4$ und $W''' = W_1 \cdot W_2 \cdot W_4$, woraus folgt $W_3 = \frac{W''''}{W'''} = 16,9 : 37,2 = 0,45$, indem W'''' und W''' als proportional zu den eben berechneten Zahlen 16,9 und 37,2 genommen werden.

Ebenso ergibt sich $W_1 = \frac{16,0}{19,6} = 0,82$, also fast doppelt so groß, was mit dem Verhältnis der mittleren Raumwinkel übereinstimmte, unter denen die Rohre 1 und 3 von 27 cm Länge und 3 cm Durchmesser von Punkten der Bleiplatte aus erschienen. Die Wahrscheinlichkeiten W_2 und W_4 werden gleich W_3 gesetzt, da die Rohre 2 und 4 nahe bei 3 gelegen sind. Die Wahrscheinlichkeit einer Koinzidenz 1 2 4 beim Auftreten eines Schauers ist nunmehr $W_1 \cdot W_2 \cdot W_4 = 0,82 \cdot 0,45^2 = 0,17$. Da in der Stunde 37,2 Koinzidenzen 1 2 4 von aus dem Blei stammenden Schauern beobachtet wurden, wird die Zahl aller solcher Schauer auf $37 : 0,17 = 220$ geschätzt, und da die untere Fläche der Bleiplatte $20 \cdot 40 = 800 \text{ cm}^2$ betrug, traten aus jedem cm^2 je Stunde $220 : 800 = 0,3$ Schauer aus. Dabei war vorher festgestellt worden, indem die Breite der Platte

von 5 bis 30 cm verändert wurde, daß die Schauer im wesentlichen aus allen Teilen der Unterseite gleichmäßig austreten und nicht etwa die Gegend um die Mitte bevorzugt war. Nachdem noch entsprechende Versuche und Berechnungen mit zwei anderen Zählrohranordnungen vorgenommen worden waren, wird der Mittelwert 0,6 für die stündliche Schauerzahl je cm^2 gewonnen.

Eine weitere Wahrscheinlichkeitsbetrachtung bestimmt die Zahl der Strahlen, aus denen ein Schauer durchschnittlich besteht, zu etwa 6. Nach der Vorstellung von GEIGER und FÜNFER sollte ein Schauer im allgemeinen nur aus zwei Zwillingstrahlen von C-Elektronen zusammengesetzt sein. Da diese aber von einer D-Bremsstrahlung begleitet sind, kann ein Zählrohr auch durch diese auf dem Umwege über ein E-Elektron entladen werden, das von ihr etwa in der Rohrwand ausgelöst wird. Nach Erfahrungen mit γ -Strahlen ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein D-Quant ein von ihm durchsetztes Zählrohr ansprechen läßt, von der Größenordnung 0,01, so daß es etwa von 100 Quanten mit derselben Wahrscheinlichkeit entladen wird wie von einem hindurchgehenden einzelnen ionisierenden Strahl. Demnach ergeben 2 C-Strahlen zusammen mit 400 D-Quanten dieselbe Koinzidenzzahl im Mittel wie 6 ionisierende Strahlen, und es müßten durchschnittlich mit jedem C-Elektron rund 200 D-Quanten aus dem Blei kommen, was energetisch wohl möglich ist, da die Energie eines D-Quants auf $6 \cdot 10^5$, die eines C-Elektrons auf mindestens $3 \cdot 10^9$ e-Volt geschätzt wird. Diese Ergebnisse sind auch mit den Nebelkammeraufnahmen im Einklang, im besonderen mit den von MILLIKAN und seinen Mitarbeitern in diesen beobachteten Photonengarben (21; 22).

Von den Ionisationsstößen, die nach ihrem Entdecker HOFFMANN benannt sind, ist bereits in den letzten Berichten dieser Zeitschrift die Rede gewesen (23). Ihre Deutung durch MILLIKAN als instrumentale Zufälligkeiten, die im letzten Bericht auseinandergesetzt wurde, hat sich nicht als haltbar erwiesen (24). Vielmehr hat die Vorstellung immer mehr Boden gewonnen, daß ein Stoß aus zahlreichen gleichzeitigen Strahlen geladener Teilchen zusammengesetzt ist, die von einem oder mehreren Zentren aus den umgebenden Stoffen die Ionisationskammer durchdringen. Während im allgemeinen die Stöße als eine von den eigentlichen Schauern wesentlich verschiedene Wechselwirkung zwischen Ultrastrahlung und Materie angesehen werden (25), neigen eine Anzahl amerikanischer Forscher zu der entgegengesetzten Auffassung, so z. B. C. G. und D. D. MONTGOMERY. Diese Autoren bemerken in ihrer letzten Arbeit (26), daß bei einer Zählrohranordnung der Bruchteil der registrierten Schauer außer von der geometrischen Anordnung der Rohre offenbar von der Dichte der Strahlen des Schauers abhängt. Da

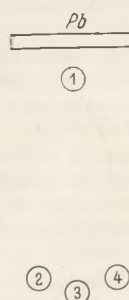


Fig. 4. Vierfach-koinzidenzschaltung von GEIGER und ZEILLER.

wie bei der Rossischen Dreikantanordnung nur wenige Rohre verwendet wurden, lag die Vermutung nahe, daß sie auch nur durch eine kleine Zahl Strahlen entladen werden. Bei einer Ionisationskammer dagegen würden Schauer oder Stöße mit verhältnismäßig wenig Strahlen nicht registriert, da sie nicht sicher von den statistischen Schwankungen der gewöhnlichen Ionisation durch die Ultrastrahlung zu trennen sind. Auf diese Weise sei der Unterschied zwischen Schauern und Stößen künstlich hervorgerufen worden.

Um diesen Standpunkt zu rechtfertigen, verwenden sie gleichzeitig eine Ionisationskammer und eine Dreikantanordnung von Zählrohren unter ihr und berechnen auf Grund einfacher Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen den Bruchteil der in der Kammer registrierten Stöße einer gegebenen Größe, die die Zählrohre gleichzeitig entladen. Dabei legen sie gewisse plausible Voraussetzungen zugrunde, im besonderen, daß einer bestimmten Stoßgröße, d. h. erzeugten Ionenmenge auch eine bestimmte Zahl Strahlen entspricht, daß die Strahlen willkürlich verteilt sind, und daß sie die Ionisationswirkung von Elektronen hoher Energie haben. Mit dem berechneten Ergebnis wird der experimentelle Befund verglichen.

Der benutzte Apparat bestand aus einer kugelförmigen Kammer aus Magnesium, über der sich eine quadratische Bleischicht von 1 cm Dicke und einer Kantenlänge gleich dem Durchmesser der Kammer befand. Unter der Kammer war eine Dreikantschaltung so angebracht, daß die Ansprechwahrscheinlichkeit für jedes Rohr dieselbe war. Sie wurde durch das Verhältnis der mittleren Raumwinkel gemessen, unter denen ein Rohr und die Kammer von der Bleiplatte aus erschienen, und war rund gleich 0,01. Eine 3fache Koinzidenz ließ eine Lampe aufleuchten und verursachte eine Spur auf demselben photographischen Papier, auf dem die Stöße in der Kammer aufgezeichnet wurden. Der Bruchteil der Zahl Ionisationsstöße, größer als $1,2 \cdot 10^6$ Ionen in Stickstoff von 14,5 Atm Druck, die von einer Koinzidenzentladung der Zählrohre begleitet waren, wurde bestimmt. Unter der Annahme, daß die Ionisationswirkung der Strahlen 60 Ionen je cm bei 1 Atm Druck ist, kann die Zahl N der Strahlen jedes Stoßes bestimmt werden, der von der Kammer aufgefangen wird.

Die durch Berechnung und Beobachtung gewonnenen Kurven für die Abhängigkeit der Ansprechwahrscheinlichkeit aller 3 Rohre zugleich von der Zahl der Strahlen des Stoßes stimmen gut überein, was um so bemerkenswerter ist, als manche von den benutzten Konstanten, wie die ionisierende Wirkung von Elektronen hoher Energie, nur ungenügend bekannt sind.

Von den MONTGOMERYs ist auch die Abhängigkeit der Stöße von der Höhe des Beobachtungs-ortes weiter untersucht worden. Sie haben dazu Versuche im Meeresniveau, auf dem 4300 m hohen Pikes Peak in Kalifornien und auf zwei Zwischenstufen ausgeführt und gefunden, daß die Häufigkeit der Stöße mit der Höhe viel mehr zunimmt

als die Gesamtintensität der Ultrastrahlung, ja selbst die ihrer weichsten Komponente, deren Stärke ganz besonders mit der Höhe wächst. Während die Häufigkeit der in Blei ausgelösten Stöße in 4300 m Höhe 25mal so groß wie im Meeresniveau ist, beträgt die Gesamtintensität der Ultrastrahlung nur das 5fache (27).

Ähnliche Versuche sind von R. BENNETT, G. BROWN und H. RAHMEL auch in 4 Höhenstufen vom Meeresspiegel bis zum Pikes-Peak-Gipfel angestellt worden (28).

Wie die MONTGOMERYs machen sie auf die Schwierigkeiten aufmerksam, zwischen wahren Stößen und statistischen Schwankungen zu unterscheiden, denen die gewöhnliche Ionisation durch die Ultrastrahlung unterliegt. Diese hat zur Folge, daß eine untere Grenze für die Stoßgröße festgesetzt werden muß, die bei den MONTGOMERYs $1,5 \cdot 10^6$, bei BENNETT usw. $20 \cdot 10^6$ Ionen betrug. Dieser Unterschied hängt damit zusammen, daß die Kammer bei den MONTGOMERYs 50, bei BENNETT 19,3 Liter faßte und die berechnete Zahl der Ionen von der Größe der Kammer abhängt, die im allgemeinen nicht den ganzen Stoß aufnehmen kann. Schaubilder der Abhängigkeit der Stoßhäufigkeit von der Stoßgröße, sog. Verteilungskurven, sind zuerst von STEINKE und SCHINDLER aufgestellt worden (29). Von der kleinsten abgetrennten Ionenmenge von $0,5 \cdot 10^6$ Elementarquanten, die noch als Stoß meßbar war, stieg die Häufigkeit rasch zu einem Maximum bei $1 \cdot 10^6$ E. Q. an, um dann langsam bis zum größten beobachteten Wert von $10 \cdot 10^6$ E. Q. herabzusinken.

Bei den Versuchen von BENNETT usw. wurde die Zahl 10^9 Ionen bei 3 Stößen in 4300 m Höhe erreicht. Bei der spezifischen Ionisation 135 Ionen je cm Normalluft würden rund 5000 Strahlen nötig sein, um so viel Ionen zu erzeugen. Rechnet man dabei 30 e-Volt auf ein Ionenpaar, so würde der dazu nötige Energieaufwand $3 \cdot 10^{10}$ e-Volt sein. Berücksichtigt man noch die Absorption durch den Panzer von 12 cm Pb, so kommt man zu einer Gesamtenergie von fast 10^{12} e-Volt, die durch einen solchen Stoß ausgelöst wird. Nun hat nach REGENER die härteste Komponente der Ultrastrahlung, wenn sie als wellenartig betrachtet wird, nur die Energie $3,8 \cdot 10^9$ e-Volt (30), und wenn sie korpuskular ist, nach ROSSI 10^{10} e-Volt. Es ist auch unwahrscheinlich, daß sie von einem einzigen Atom hergegeben wird, denn die Energie des Pb-Atomkerns ist $mc^2 = 2 \cdot 10^{11}$ e-Volt, so daß eine größere Zahl Atome beteiligt sein oder die entstehenden Strahlen erheblich größere Ionisationswirkung haben müssen als die in Nebelkammern zumeist beobachteten. Dabei bilden die in Betracht gezogenen Stöße nur einen sehr kleinen Bruchteil der Gesamtionisation; doch ist die Möglichkeit, daß alle Ionisation von Stößen herrührt, nicht ausgeschlossen, da der Anteil der kleinen, aber viel häufigeren Stöße nicht eingegriffen ist. Diese Bemerkung wird auch von J. C. STREET und R. T. YOUNG in Bezug auf die vielstrahligen Schauer gemacht, deren Häufigkeit für verschiedene Bleidicken über der Ionisationskammer sie in verschiedenen Höhen untersucht

haben (32), ebenso von R. DOAN in einer Arbeit über die Beziehungen der durch die Ultrastrahlung in einer kugelförmigen Ionisationskammer erzeugten Ionisation zu der Zahl der in sie eintretenden Teilchen (36).

Die Gesamtstöße Zahl nimmt nach BENNETT usw. mit der Höhe in ungefähr demselben Maße zu wie die Gesamtionisation bis zu 3000 m, aber bedeutend schneller für größere Höhen; die Häufigkeit sehr großer Stöße wächst mit der Höhe sehr viel mehr als die Gesamtionisation. Ähnlich wie ROSSI den Übergangseffekt in einer Bleiplatte über Zählrohren untersucht hat, ist dies von R. DOAN für einen Bleipanzern um eine Ionisationskammer gemacht worden (35). Sie war kugelförmig, faßte 20 Liter, war mit Argon von 50 Atm Druck gefüllt und von einer 17 cm dicken Schicht von Bleischrot und einer äußeren Stahlschale umgeben. Die Häufigkeit der Stöße über $15 \cdot 10^6$ Ionen beträgt dann 0,14 bis 0,24 je Stunde im Meeresniveau. Als von dem Blei so viel entfernt wurde, daß die Pb-Schicht über dem Scheitel der Kammer nur 3 bis 4 cm dick war, stieg die Häufigkeit der Stöße bedeutend an, woraus geschlossen wird, daß die stoßerzeugenden Strahlen im Blei stark absorbiert werden.

In Deutschland sind die Stöße in letzter Zeit von A. GASTELL untersucht worden (33). Um die durch einen Stoß verursachte Ionisation voll erfassen zu können, ist von ihm eine Kammer von 500 Liter Inhalt benutzt worden. Sie war allseitig von einem 10 cm starken Panzer umgeben, der unten und an den Seiten aus Fe, oben aus Pb bestand; das Gesamtgewicht war 6500 kg. Indem der Druck des Füllgases CO_2 von 1 kg je cm^2 bis zu 10,58 kg gesteigert wurde, konnte eine schon von MESSERSCHMIDT gefundene Tatsache bestätigt werden, daß die Stoßhäufigkeit vom Druck des Füllgases unabhängig und die Stoßgröße ihm proportional ist, das Gas also bei der Stoßerzeugung keine wesentliche Rolle spielt. Anstatt eines die Kammer umschließenden Panzers wurden auch streifenförmige Stoßstrahler von $140 \cdot 30 \cdot 10 \text{ cm}^3$ aus Pb, Fe und Al benutzt, um die Stoßerzeugung in verschiedenen Stoffen zu

vergleichen. Sie wurden mitten über die Kammer gelegt und bei jedem etwa 300 Stöße aufgenommen. Das Ergebnis war, daß in Pb vorwiegend kleinere, in Fe und Al größere Stöße ausgelöst werden.

Bei einer Darstellung der Stoßhäufigkeit als Funktion des Luftdrucks zeigte sich ein abnorm hoher Barometereffekt. Es liegt nahe, diese Tatsache mit der starken Zunahme der Stoßhäufigkeit mit der Höhe in Verbindung zu bringen und dahin zu deuten, daß die Stöße wenigstens zum Teil durch eine leicht absorbierbare Strahlung erzeugt werden. Ebenso ist eine größere Empfindlichkeit der Schauer gegen Luftdruckänderungen, als der Gesamtionisation entspricht, auch in verschiedenen Höhen von T. H. JOHNSON und E. C. STEVENSON gefunden und erklärt worden (34).

Bei allen Darstellungen der Stoßhäufigkeit als Funktion der Tageszeit erhielt GASTELL ein scharfes Minimum um 10^h, ein schwächeres um 16^h und ein Maximum um 24^h.

Literaturverzeichnis.

1. Physik. Z. 33, 304 (1932). — 2. Z. Physik 82, 151 (1933). — 3. Z. physik. chem. Unterr. 47, 114 (1934).
4. Z. physik. chem. Unterr. 48, 265 (1935). — 5. Physic. Rev. 45, 569 (1934). — 6. Z. Physik 93, 543 (1935). — 7. Physica II, 6, 551 (1935); vgl. auch Physica II, 3, 187 (1935). — 8. Physic. Rev. 44, 241 (1933) u. 47, 515 (1935). — 9. Z. Physik 86, 120 (1933). — 10. Z. physik. chem. Unterr. 48, 269 (1935). — 11. Proc. roy. Soc. Lond. (A) 146, 83 (1934). — 12. Z. Physik 83, 92 (1933). — 13. Z. Physik 96, 121 (1935). — 14. Z. Physik 56, 751 (1929). — 15. Z. Physik 82, 151 (1933). — 16. Z. Physik 96, 62 (1935). — 17. Ric. Sci. 5 [1] (1934). — 18. Physic. Rev. 47, 891 (1935). — 19. Z. Physik 95, 102 (1935). — 20. Z. Physik 97, 300 (1935).
21. Physic. Rev. 45, 352 (1934). — 22. Z. physik. chem. Unterr. 48, 270 (1935). — 23. Z. physik. chem. Unterr. 47, 114 (1934) u. 48, 270 (1935). — 24. Papers and Discussions of the International Conference on Physics, London 1934. Vol. I, p. 229. — 25. Erg. exakt. Naturwiss. 13, 129 (1934). — 26. Physic. Rev. 48, 786 (1935). — 27. Physic. Rev. 47, 429 (1935). — 28. Physic. Rev. 47, 437 (1935). — 29. Naturwiss. 20, 491 (1932). — 30. Erg. exakt. Naturwiss. 13, 127 (1934). — 31. Physik. Z. 34, 306 (1933). — 32. Z. Physik 82, 159 (1933). — 33. Physic. Rev. 47, 572 (1935). — 34. Z. Physik 97, 403 u. 414 (1935). — 35. Physic. Rev. 47, 578 (1935). — 36. Physic. Rev. 48, 471 (1935). — 37. Physic. Rev. 48, 167 (1935). — 38. Z. Physik 94, 303 (1935). — 39. Z. Physik 35, 858 (1935).

3. Geschichte und Erkenntnislehre.

Empfindung, Wahrnehmung, Vorstellung. (Zur Klarstellung einiger in der Sinnesphysiologie häufig gebrauchten Bezeichnungen.) Von EMIL V. SKRAMLIK in Jena.

Alle Worte für Begriffe stellen nichts anderes dar als Zeichen, durch die es uns ermöglicht wird, das, was wir äußerlich und innerlich erleben, auch anderen mitzuteilen. Freilich müssen diese Sprachausdrücke, wenn wir uns verständlich machen wollen, so gewählt sein und so benützt werden, daß ihnen ein bestimmter, unabänderlicher Sinn zukommt. Die Anforderungen an die richtige Bezeichnungsweise dessen, was wir mitzuteilen wünschen, werden natürlich um so höher, je mehr wir uns von der einfachen Sprache des täglichen Lebens entfernen und in die sog. intellektuelle Sprache hineinkommen, die in besonders entwickeltem

Maße in allen Wissenschaften gebräuchlich ist bzw. sein sollte.

Je schärfer die Sprachausdrücke für Begriffe umrissen sind, um so sicherer können wir sie benützen, um so mehr gewinnt unsere Ausdrucksweise an Klarheit. Nun sind aber Vorgänge der Außenwelt sprachlich sehr viel leichter klar zum Ausdruck zu bringen, als Vorgänge der Innenwelt. Die letzteren können natürlich nicht von jedem richtig beschrieben werden, sondern nur von demjenigen, der mit den einschlägigen Begriffen ständig zu arbeiten gewohnt ist, mit ihnen also vollkommen auf vertrautem Fuße steht. Freilich kann es dann immer noch geschehen, daß ein und derselbe Sprachausdruck für einen rein geistigen Begriff von dem einen Sachkundigen in anderer Weise erklärt und demgemäß anders benützt wird,

als von einem anderen. Dies geht am besten aus den sprachlichen Ausdrücken für Begriffe hervor, wie z. B. Empfindung, Wahrnehmung und Vorstellung, die nicht nur in der Sinnesphysiologie, sondern auch in der Psychologie und Philosophie, in einem gewissen Umfange auch in den Naturwissenschaften, eine sehr große Rolle spielen und nicht selten ganz verschieden angewandt werden. Daß dies geschieht, ist nicht weiter befremdlich, weil es sich um Sprachausdrücke für ein Geschehen handelt, das fürs erste nicht greifbar ist und nicht greifbar gemacht werden kann. Eben deswegen ist es von Wichtigkeit, die Unterschiede zwischen diesen Begriffen, durch die Bewußtseinsinhalte gekennzeichnet werden, nach dem heutigen Stand unserer Erkenntnis klar zu legen.

I. Empfindungen.

Wir erleben eine Empfindung, wenn ganz bestimmte Sinneszentren in Tätigkeit gebracht werden, z. B. eine Gesichtsempfindung durch einen Erregungszustand von Ganglienzellen, welche sich in der Rinde des Hinterhauptslappens des Gehirns befinden. Dieser Erregungszustand kann auf verschiedene Weise herbeigeführt werden. Der einfachste Weg ist gegeben, wenn sich Licht an der Netzhaut auswirkt. Die Veränderungen, die hier geschaffen werden, werden durch ein verwickeltes Geschehen auf die vorhin erwähnten Ganglienzellen übertragen. Natürlich ist zum Aufkommen einer Gesichtsempfindung das Schaffen eines Erregungszustandes der Netzhaut nicht unbedingt erforderlich. Eine Lichtempfindung können wir auch erleben durch Reizung der Nerven, welche die Verbindung der Netzhaut als der peripheren Sinnesfläche und der Ganglienzellen im Hinterhauptslappen als der zentralen Sinnesfläche herstellen. Ja, sie kann auch zustande kommen durch eine unmittelbare Erregung der Ganglienzellen im Hinterhauptslappen selbst aus irgendwelchen, zumeist inneren Ursachen. Niemals wird aber eine Gesichtsempfindung ohne Beteiligung dieser Ganglienzellen zustande kommen. Demgemäß erleben wir auch keine Gesichtsempfindung mehr, sowie diese Stätten entweder durch ein krankhaftes Geschehen oder durch irgend eine Verletzung zerstört wurden, und zwar auch dann nicht, wenn Auge und Sehnerv nach wie vor leistungsfähig sind oder wenigstens so sein scheinen.

Das Aufkommen einer Empfindung — gleichgültig, welches Sinneswerkzeug daran beteiligt ist — hängt also mit besonderen Leistungen von Ganglienzellen bestimmter Großhirnrindenanteile zusammen. Es handelt sich dabei um Vorgänge, die sich nur in einem lebenden Subjekt abspielen und abspielen können. Einer Empfindung liegt also ein Geschehen zugrunde, das an das Leben einer bestimmten Körpersubstanz geknüpft ist. Innerhalb der leblosen Welt kennen wir keine Vorgänge, die einer Empfindung gleich zu setzen wären. Wohl aber können leblose Dinge, genau so wie die belebten, dazu Anlaß geben, daß in einem lebenden Subjekt eine Empfindung aufkommt. Die Ursache einer Empfindung ist nämlich in irgendwelchen Reizen zu erblicken, die

von der Innen-, aber auch von der Umwelt eines Subjektes ihren Ausgang nehmen.

Hier ist darauf hinzuweisen, daß nicht nur ein ursächlicher Zusammenhang zwischen einer Empfindung und den Reizen besteht, die aus der Innen- oder Umwelt des betreffenden Individuums stammen. Die Gesetze, die dem ganzen Geschehen zugrunde liegen, kann man in knapper Form folgendermaßen zusammenfassen. Ein und derselbe Reiz ruft in verschiedenen Sinneswerkzeugen Empfindungen (1) hervor, die sich nach v. HELMHOLTZ (2) durch die Modalität voneinander unterscheiden. So bewirkt z. B. ein heftiger Schlag gegen den Kopf eine Lichtempfindung durch Vermittlung des Auges, einen Knall durch Vermittlung des Ohres, eine kurzdauernde Druckempfindung (Stoßempfindung) durch Vermittlung des Drucksinnes und gegebenenfalls auch eine Schmerzempfindung durch Vermittlung des Schmerzsinnens. Die Modalität der Empfindung hängt also von der Tätigkeitsweise bestimmter Ganglienzellengruppen ab, die sich entsprechend der Lagerung der zentralen Flächen der vorhin genannten Sinneswerkzeuge im Hinterhaupt- oder im Schläfen- oder im Seitenlappen des Gehirns befinden. Andererseits kann man bei einem und demselben Sinneswerkzeug durch eine Reizabstufung qualitativ verschiedene Empfindungen hervorrufen; so z. B. durch Licht von der Wellenlänge $670\mu\mu$ die Empfindung rot, durch Licht von der Wellenlänge $589\mu\mu$ die Empfindung gelb.

Die Zustandsänderungen unseres Gehirns, die das Auftreten von Empfindungen veranlassen, werden als solche nicht erlebt. Sie geben uns demgemäß auch keinen Aufschluß über die Tätigkeit des Gehirns oder bestimmter Hirnanteile. Wäre dies der Fall, so würden sich in ihnen nur Zustände der eigenen Seele widerspiegeln. Auf diese Weise würden wir aber vermittlels der Empfindungen weder über die Beschaffenheit unseres eigenen Körpers unterrichtet werden, noch über die Vorgänge, die sich an oder in ihm abspielen. Auch bekämen wir keine Meldung von den Gegenständen der Außenwelt, die mit unserer Körperoberfläche in Berührung kommen oder sich in unserer näheren oder fernerer Umgebung befinden.

All dies ist nur möglich, wenn wir die Empfindungen, wie dies tatsächlich geschieht, aus dem Gehirn hinaus projizieren, und zwar möglichst an diejenige Stelle, von der der Reiz ausgeht, der zu ihrem Auftreten Anlaß gibt. Dieses Hinausprojizieren der Empfindungen aus bestimmten Gehirnteilen ist allen Sinneswerkzeugen gemeinsam. Es erfolgt nur bei den einzelnen Sinnen in durchaus verschiedener Weise. Die Empfindungen, die dem Kraft-, Schmerz-, Temperatur-, Druck- und Geschmackssinn zugehören, werden im allgemeinen in die periphere Sinnesfläche oder deren nächste Umgebung projiziert. Ganz besonders ausgeprägt ist die Projektion in die Nachbarschaft des peripheren Sinnesfeldes beim Geruchssinn. Die Empfindungen werden nämlich hier nicht in die obere Riechspalte projiziert, wo sich das periphere Sinnesfeld des

Geruches befindet, sondern eine Strecke weit davon, in den Eingang zu den Nasenvorhöfen verlegt. Die Empfindungen, die dem Gehörs- und Gesichtssinn zugehören, werden zumeist in die Umwelt projiziert. Das können wir gelegentlich auch beim Drucksinn beobachten, wenn wir dessen periphere Sinnesfläche mittels eines festen Körpers mit einem Gegenstand der Umwelt in Verbindung setzen.

Durch das Hinausprojizieren der Empfindungen aus den Gehirnannteilen, in denen sie in Wirklichkeit entstehen, beginnt erst der eigene Körper, beginnt die Umwelt für uns zu bestehen. Was sich in unserem Körperinnern abspielt, erfahren wir, wenn auch in sehr beschränktem Umfange, vor allem durch den Schmerzsinne, zum Teil auch durch den Drucksinn. Das Geschehen, das sich beim Schlucken abspielt oder das zum Auftreten von Spannungserscheinungen in den inneren Organen Anlaß gibt, wird, ähnlich wie der Puls und Herzspitzenstoß, auf Drucksinnesempfänger übertragen, die sich zum Teil im Innern des Organismus, zum Teil an seiner Oberfläche befinden (3). Vermittels des Gehörs können wir ebenfalls in einem gewissen Grade Aufschluß über Vorgänge im Innern unseres Körpers bekommen. Wir erhalten durch seine Vermittlung unter bestimmten Bedingungen Nachrichten über das Geschehen im Kreislaufsystem im allgemeinen und im Herzen im besonderen. Auch die Atmung verrät sich dem Gehör, ebenso die Transportfunktion des Magendarmkanals durch kollernde, gurrende Geräusche. Was an unsere Körperoberfläche herankommt, erfahren wir vorzugsweise durch den Druck-, Temperatur- und Schmerzsinne. Was sich außerhalb des Körpers befindet oder abspielt, darüber geben uns Gesichtssinn, Gehörs- und Geruchssinn Nachrichten, gelegentlich auch der Drucksinn, und zwar in der vorhin angegebenen Weise. Was mit unserem ganzen Körper geschieht, vor allem wie er zur Umwelt eingestellt ist, erfahren wir durch das statische Organ, den Gleichgewichtssinn. Über den Umfang und die Stärke, mit der wir auf die Umwelt einwirken können, bekommen wir durch den Kraftsinne Aufschluß.

Wir haben nun die Tatsache besprochen, daß wir unsere Empfindungen aus dem Großhirn hinaus verlegen. Auf diese Weise offenbaren sich uns einmal die Zustände und Zustandsänderungen in und an unserem Körper, zum zweiten die in unserer Umwelt. Das Hinausprojizieren der Empfindungen kann demgemäß in zweierlei Weise erfolgen: Entweder wir beziehen sie auf unseren eigenen Körper, dann kann man von einem Subjektivieren der Empfindungen sprechen; oder wir beziehen sie auf Zustände und Zustandsänderungen außerhalb unseres Körpers, dann kann man von einem Objektivieren der Empfindungen reden (4). Der Unterschied in diesen beiden Geschehen läßt sich leicht an einigen Beispielen klarmachen. Schmerzempfindungen werden wir mit geringen Ausnahmen subjektivieren, d. h. als Zustandsänderungen in unserem Körper deuten und nicht etwa auf Gegenstände der Außenwelt beziehen. Kraftempfindungen werden wir viel-

fach, Gesichtssinn, Gehörs- und Geruchsempfindungen zumeist, also mit wenigen Ausnahmen, objektivieren, d. h. als Zustände oder Zustandsänderungen in unserer Umwelt auslegen und nicht etwa als irgend welche Veränderungen an oder in unserem Körper bewerten. Die Empfindungen, die uns durch den Geschmacks-, Druck- und Temperatursinne vermittelt werden, können sowohl subjektiviert als auch objektiviert werden, d. h. wir können bei ihrem Zustandekommen sowohl an ein Geschehen denken, das sich in unserem Organismus abspielt, als auch an Gegenstände der Außenwelt, durch die dieses Geschehen ausgelöst wird.

Das Subjektivieren und Objektivieren unserer Empfindungen könnte nun so erfolgen, daß wir beim Subjektivieren nur an unseren Körper ganz allgemein, beim Objektivieren nur an die Außenwelt ganz allgemein gemahnt werden. Es wäre uns also dann unmöglich, genauer anzugeben, an welcher Stelle unseres Körpers oder an welcher Stelle unserer Umgebung sich das Geschehen abspielt. Nun können wir aber beobachten, daß wir unsere Empfindungen räumlich an bestimmte Stellen verlegen. In diesem Falle sprechen wir von dem sog. Lokalisieren der Empfindungen, das objektiv richtig, aber auch objektiv falsch erfolgen kann. Ein objektiv richtiges Lokalisieren der Empfindungen erfolgt vorzugsweise mittels des Gesichtssinnes. Das Lokalisieren der Empfindungen beim Geschmackssinne und bei den Hautsinneswerkzeugen erfolgt mit keiner absoluten Genauigkeit, aber doch noch einigermaßen richtig beim Geschmacks-, Druck- und Temperatursinne. Beim Schmerzsinne geschieht es sehr ungenau, beim Gehörs- und Geruchssinne ganz besonders schlecht (5).

Das Hinausprojizieren der Empfindungen aus dem Gehirn, dem ja der Vorgang der Lokalisation zugrunde liegt, kann man mit einer Art von Reflexion vergleichen. Es macht nämlich den Eindruck, als ob sich in denjenigen Gehirnrindenteilen, die den zentralen Sinnesflächen entsprechen, Vorrichtungen befänden, durch welche die Erregungswelle, die zum Auftreten von Empfindungen Anlaß gibt, wieder nach der Peripherie zurückgeworfen würde. Man könnte also das ganze Geschehen in Analogie setzen zu der Reflexion von Licht durch einen Spiegel, der so eingestellt ist, daß das zurückgeworfene Licht wieder genau die Lichtquelle trifft.

Eine solche Reflexion kommt allerdings nur bei den wenigsten Sinneseinrichtungen zustande. Sie ist hauptsächlich beim Gesichtssinne gegeben. Hier erfolgt nämlich die Lokalisation der Empfindungen objektiv zumeist richtig. Bei den anderen Sinneswerkzeugen hat es aber den Anschein, als ob der Spiegel, durch den die Reflexion vor sich geht, irgendwie unrichtig eingestellt wäre oder aber schwankend eingestellt würde. Die Reflexion geht dann nach Stellen des eigenen Körpers oder des umgebenden Raumes vor sich, von denen in Wirklichkeit die Reizwirkung gar nicht ausgegangen ist. In welcher Weise das Hinausprojizieren und die Lokalisation der

Empfindungen bei den einzelnen Sinneswerkzeugen vor sich geht, darüber geben die beigefügten fünf Figuren Aufschluß. In diesen sind für einen bestimmten Punkt der Innen- und Außenwelt einmal der Weg eingezeichnet, den die Erregung nimmt, um zum Auftreten einer Empfindung Anlaß zu geben; sodann aber auch derjenige,

Dabei hätte man unter reinen Empfindungen eines Sinneswerkzeuges Bewußtseinsinhalte zu verstehen, die durch eine Tätigkeit der zentralen Fläche aufkommen, bei denen wir aber an die Entstehungsursache nicht gemahnt werden. Um allen Mißverständnissen vorzubeugen, möchte ich hervorheben, daß mit „reiner“ Empfindung nicht

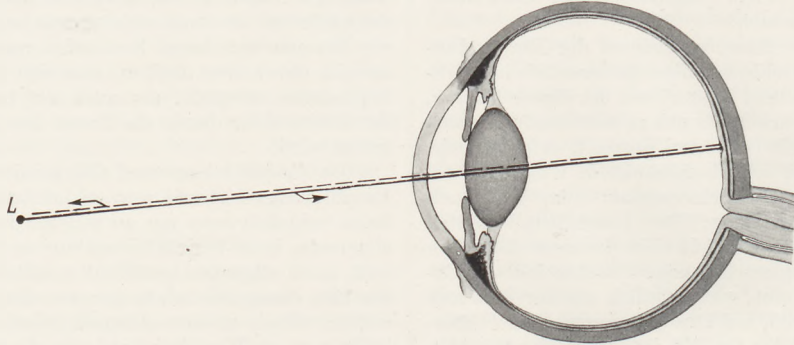


Fig. 1. Lokalisation der Gesichtsempfindungen. Durch die ausgezogene Linie (—) wird die Verbindung von der Lichtquelle *L* bis zu der Stelle des deutlichsten Sehens angedeutet; durch die gestrichelte Linie (-----) soll gekennzeichnet sein, in welcher Weise die Lokalisation der Gesichtsempfindungen statthat, die in diesem Falle objektiv richtig erfolgt.

der sozusagen bei der Hinausprojektion zum Zwecke der Lokalisation einer Empfindung eingeschlagen wird.

Die Erregungszustände von Ganglienzellen bestimmter Großhirnrindenanteile, die wir als Empfindungen ansprechen, wirken sich also in einer ganz eigenartigen Weise aus. Wir erleben nicht allein eine Empfindung, sondern wir bringen

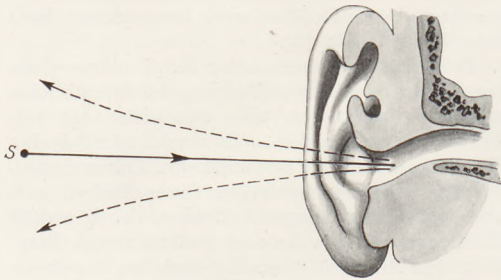


Fig. 2. Lokalisation der Gehörsempfindungen. Durch die ausgezogene Linie (—) wird die Verbindung von der Schallquelle *S* bis zum Gehörseingang angedeutet. Durch die beiden gestrichelten Linien (-----) soll gekennzeichnet werden, daß die Lokalisation der Schallquelle ganz unsicher erfolgt. Sie kann höher oder aber auch tiefer erfolgen, als es objektiv richtig ist.

sie mit irgend einem Ding oder Geschehen der Innen- oder Umwelt zwangsläufig in Zusammenhang. Dabei ist es für unsere Betrachtungen vorerst gleichgültig, ob dieses Zusammenbringen, das unserem Willen völlig entzogen ist, objektiv richtig oder aber falsch vor sich geht. Jedenfalls wird durch diesen ganzen Vorgang darauf hinausgearbeitet, uns die Ursache einer Empfindung in irgend einer Weise zur Kenntnis zu bringen.

Man könnte daraufhin geneigt sein anzunehmen, daß reine Empfindungen entweder überhaupt nicht oder nur selten erlebt werden.

etwa gemeint ist, daß bloß ein Sinneswerkzeug in Tätigkeit gebracht wird und daneben kein anderes. Auch ist es gleichgültig, ob bei einem Sinneswerkzeug die „reine“ Empfindung durch einen einheitlichen oder aber durch einen kombinierten Reiz hervorgerufen wird, ob man also z. B. im Gebiete des Gesichtssinnes ein Orange durch Licht einheitlicher Wellenlänge von $610\ \mu\mu$ oder aber durch eine entsprechende Mischung von Licht von den Wellenlängen $671\ \mu\mu$ und $589\ \mu\mu$ erzeugt.

Wir sind nun, wie eine nähere Betrachtung lehrt, in der Lage, nahezu für alle Sinneswerkzeuge Erregungszustände bestimmter Großhirnrindenanteile anzugeben, die man füglich als reine Empfindungen ansprechen kann. Und diese erleben wir durchaus nicht nur unter experimentellen Bedingungen, die zumeist sehr vereinfacht sind, sondern auch im täglichen Leben.

Im Gebiete des Gesichtssinnes sind solche einfachen Empfindungen das Blau oder das Rot am Himmel. Wir sind nämlich nicht in der Lage, einen Gegenstand anzugeben, der diese Farben aufweist. Auch vermögen wir weder das Blau noch irgendwelche anderen Färbungen des Himmels, z. B. das Abendrot, an einer bestimmten Stelle des äußeren Raumes zu lokalisieren. Wir können nur das eine mit Sicherheit sagen, daß das Blau des Himmels oder die sonstigen Himmelsfärbungen sich nicht in unmittelbarer Nähe von uns, sondern in weiter Ferne befinden. Dabei besitzen wir nicht die geringste Möglichkeit, die Größe dieser Entfernung auch nur einigermaßen abzuschätzen.

Demgemäß lösen alle scheinbar an keine Materie gebundenen Strahlungsvorgänge, die auf das Auge einwirken, in uns am leichtesten reine Gesichtsempfindungen aus. So erleben wir reine Gesichtsempfindungen in großer Mannigfaltigkeit,

wenn wir die bunte Farbenreihe ins Auge fassen, die sich uns im Spektrum offenbart. Wenn wir dieses, wie beim Spektralapparat, mittels eines Fernrohres beobachten, so verbinden wir damit weder den Eindruck eines Gegenstandes, dem diese Farben zu eigen sind, noch den einer bestimmten Entfernung, in welcher sich die Farben befinden. Besonders auffällig ist das erstere, wenn wir das Spektrum durch Projektion auf der Wand oder auf einem Schirm entwerfen. Wir werden dann die Spektralfarben mit Sicherheit wohl auf dieser Wand oder auf diesem Schirm lokalisieren. Wir werden sie aber mit dem Material der Wand oder des Schirmes in keine Verbindung bringen.

Auf dem Gebiete des Gehörssinnes können wir reine Empfindungen beim Vernehmen eines

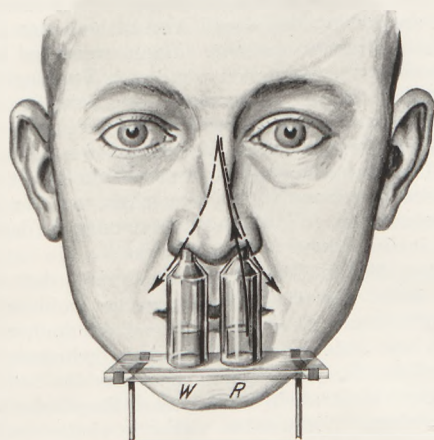


Fig. 3. Lokalisation der Geruchsempfindungen. Unter die beiden Naseneingänge sind, streng voneinander getrennt, zwei Flaschen gegeben, von denen die eine mit einem reinen Riechstoff (*R*), die andere mit geruchlosem Wasser (*W*) gefüllt ist. Durch die ausgezogene Linie (—) wird angedeutet, in welcher Weise die Riechteilchen von der Riechquelle *R* nach dem linken Geruchsfeld der Vp. vordringen. Die Lokalisation der Empfindung ist unmöglich, denn man kann den Eindruck erleben, sowohl daß sich die Riechquelle rechts, als auch links befindet. Das geht aus dem Verlauf der beiden gestrichelten Linien (-----) hervor.

Geräusches oder Klanges erleben, dessen Entstehungsursache oder Örtlichkeit uns fürs erste unbekannt bleibt. Ähnlich liegen die Dinge im Bereiche des Geruchssinnes, wenn uns beim Betreten eines Raumes ein uns unbekannter Geruch entgegenschlägt. Wir können da so lange von einer reinen Geruchsempfindung sprechen, als es uns nicht gelungen ist, den Geruchsträger und seine Örtlichkeit festzustellen. Die Ermittlung schwingender oder riechender Gegenstände stößt deswegen vielfach auf Schwierigkeiten, weil es sich beim Gehörs- und Geruchssinn um zwei Sinneswerkzeuge handelt, mit deren Hilfe wir Empfindungen nicht ohne weiteres objektiv richtig lokalisieren können.

Auf dem Gebiete des Geschmackssinnes erleben wir reine Empfindungen außerordentlich selten. Alle Stoffe, die eine Geschmackswirkung ausüben, müssen zumeist in festem oder flüssigem

Zustande in die Mundhöhle gebracht werden. Unter diesen Bedingungen spielt sich aber neben der Erregung des Geschmacks- auch gleichzeitig eine solche des Drucksinnesfeldes ab. Wenn wir die festen oder flüssigen Geschmacksträger erkennen, so ist das weniger eine Leistung des Geschmacks-, als eine solche des Drucksinnes. Nur wenn wir Stoffe in gasförmigem Zustande

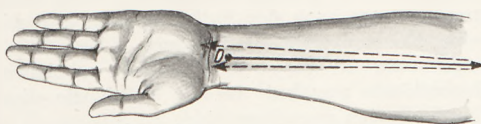


Fig. 4. Lokalisation der Druckempfindungen. Durch die ausgezogene Linie (—) wird angedeutet, wie die Erregung von der Druckreizstelle *D* nach dem Zentralorgan übertragen wird. Die Lokalisation der Druckempfindung erfolgt einigermaßen genau, indem der Druckreizort wohl nicht richtig an der Stelle *D*, aber in deren Umgebung gesucht wird, wie aus dem Verlauf der gestrichelten Linien (-----) hervorgeht.

einatmen, können wir eine reine Geschmacksempfindung erleben, da dann die Druckempfindung ausbleibt. Das ist z. B. der Fall beim Einatmen von Luft, der kleine Mengen von Chloroform beigemischt sind, das neben der Wirkung auf den Geruchssinn auch eine solche auf den Geschmackssinn ausübt, und zwar durch Hervorrufung einer sehr starken Süßempfindung.

Das Zustandekommen reiner Empfindungen stößt also auf dem Gebiete des Geschmackssinnes auf erheblich größere Schwierigkeiten als

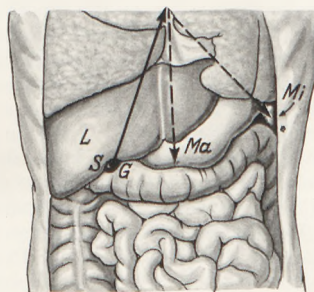


Fig. 5. Lokalisation der Schmerzempfindungen. Es bedeuten: *G*, *L*, *Ma* und *Mi* Gallenblase, Leber, Magen und Milz. Durch die ausgezogene Linie (—) wird angedeutet, in welcher Weise die Übertragung der Antriebe von der Reizstelle *S* nach den Zentralstätten zum Hervorrufen einer Schmerzempfindung stattfindet. Durch die gestrichelten Linien (-----) wird angedeutet, daß die Lokalisation der Schmerzempfindung nach den verschiedensten Organen statthaben kann, z. B. nach dem Magen oder nach der Milz. Die Lokalisation der Schmerzempfindungen findet also sehr unsicher statt.

beim Gehörs- bzw. Geruchssinn. Noch größer werden diese Schwierigkeiten im Bereiche des Drucksinnes. Reine Druckempfindungen, bei denen an die äußere Ursache und die Örtlichkeit des Reizes nicht gedacht wird, erleben wir sehr selten, eigentlich nur unter experimentellen Bedingungen, die außerordentlich vereinfacht sind. Denn wenn wir mit einem Körper in Berührung kommen, so besitzen wir zumeist die

Möglichkeit, etwas über die Art des Gegenstandes auszusagen; natürlich auch über die Örtlichkeit an der Hautoberfläche, an der sich der Gegenstand auswirkte. Nur die sog. flüchtigen Empfindungen im Gebiete des Drucksinnes, die Berührungs- und Kitzelempfindungen, die einen unbestimmten Charakter besitzen, werden wir im allgemeinen psychisch mit einem Gegenstande nicht in Verbindung setzen. Doch kann ohne weiteres auch der Fall eintreten, daß wir beim Erleben einer Berührungs- oder Kitzelempfindung an die belebten oder unbelebten Gegenstände gemahnt werden, durch die diese Empfindungen auszulösen sind.

Temperaturempfindungen werden unter den gewöhnlichen Bedingungen des Lebens auf die Weise erzeugt, daß wir von einem warmen oder kalten Gegenstand berührt werden. In diesem Falle werden wir aber leicht durch die begleitenden Druckempfindungen auf die Art des Gegenstandes aufmerksam gemacht, natürlich auch auf die Örtlichkeit der Haut- oder Schleimhautstelle, an der er sich auswirkt. Wir erleben aber nicht einmal dann leicht reine Temperaturempfindungen, wenn wir die begleitenden Druckempfindungen ausschalten. Dies kann z. B. durch Anwendung von Wärmestrahlen auf die Haut geschehen oder durch Entzug größerer Mengen von Wärme aus der Haut durch Substanzen, die schnell verdampfen. Auch da werden wir leicht geneigt sein, die Temperaturempfindungen mit irgendeinem Geschehen in der Umwelt in Zusammenhang zu bringen, um so mehr als wir die Örtlichkeit der Hautstelle, an der die Einwirkung vor sich geht, mit einer gewissen Sicherheit zu bestimmen in der Lage sind. Eine gewisse Ausnahme davon ist in den Erscheinungen zu erblicken, die wir im Fieberzustande oder aber beim Frieren erleben. Hier wird man von reinen Empfindungen der Wärme bzw. der Kälte reden müssen. Denn wir sind weder in der Lage, über das Geschehen ins klare zu kommen, durch das diese Empfindungen hervorgerufen werden, noch etwa näher die Örtlichkeit der Reizeinwirkung zu umreißen, da durch den Zustand des Fiebers bzw. des Frierens meist größere Körpergebiete in Mitleidenschaft gezogen werden.

Auch im Gebiet des Schmerzsinnes, bei dessen Erregung wir ja infolge der unangenehmen Gefühlsbetonung an Zustände des eigenen Körpers gemahnt werden, sind reine Empfindungen sicher nicht so häufig, wie man bei oberflächlicher Betrachtung annehmen könnte. Denn wenn wir Schmerz verspüren, so werden wir stets geneigt sein, an irgend eine Schädigung zu denken, die sich entweder in unserer äußeren Körperfläche oder aber im Innern des Organismus auswirkt. Unter diesen Umständen bringen wir aber den Schmerz mit irgendeinem Geschehen in Zusammenhang.

Durch die Empfindungen von seiten des Kraftsinnes werden wir von den Spannungszuständen in unseren Muskeln unterrichtet. Im allgemeinen sind diese Empfindungen sehr flüchtig und von unbestimmtem Charakter. Trotzdem bringen wir sie mit irgendeinem Geschehen in

unserem Organismus in Zusammenhang. Wir erfahren ja doch zumindest etwas darüber, daß unsere Muskeln in bestimmter Weise in Anspruch genommen wurden. Das ist vor allem dann der Fall, wenn wir Gewichte heben. Von dem Grad der Beanspruchung der Muskeln werden wir aber auch unterrichtet, wenn wir Gliedmaßen oder deren Anteile gegeneinander verlagern, ohne daß dabei eine Belastung von außen statthat. Es spielt allerdings zweifellos eine Rolle, daß bei jeglicher Muskelbetätigung auch gleichzeitig Drucksinnesempfänger in der Haut in Erregungszustand kommen, durch die wir über das Geschehen viel besser unterrichtet werden als durch die Kraftsinnesempfänger. So ist es verständlich, daß für gewöhnlich reine Kraftempfindungen nur selten aufkommen.

Als reine Empfindung ist dagegen der Schwindel anzusehen, der durch Vermittlung des statischen Organes auftritt. Denn wenn es uns „schwindelt“, so können wir diesen Vorgang unmittelbar weder mit einem Gegenstande der Außen- noch mit einem Geschehen der Innenwelt in Verbindung bringen. Auch sind wir nicht in der Lage, mit einer irgend brauchbaren Sicherheit die Stelle unseres Kopfes anzugeben, von der der Schwindel seinen Ausgang nimmt oder an der er sich in besonderer Weise auswirkt.

Aus diesem Überblick geht hervor, daß wir mit Hilfe unserer Sinneswerkzeuge wohl reine Empfindungen zu erleben in der Lage sind, aber doch nur unter ganz bestimmten Bedingungen. Im allgemeinen beschränkt sich also die Seelentätigkeit nicht allein darauf, bloß Empfindungen zu erleben. Wir werden vielmehr vielfach ohne besonderes Zutun unseres Willens dazu gebracht, der Entstehungsursache unserer Empfindungen nachzugehen.

II. Wahrnehmungen.

Sowie die Empfindung mit irgendeinem Anteil oder einem Geschehen der Innen- oder Umwelt in Zusammenhang gebracht, also in ihrer Entstehungsursache „gedeutet“ wird, hat dies die Erregung anderer Hirngebiete zur Folge als derjenigen, die für das Zustandekommen einer Empfindung verantwortlich zu machen sind. Dadurch kommt jenes Geschehen in Gang, das als eine Wahrnehmung zu bezeichnen ist.

Als anatomisch-physiologische Unterlage für das Auftreten von Wahrnehmungen sind mit großer Wahrscheinlichkeit Rindenteile des Gehirns anzusehen, welche den jeweiligen zentralen Flächen des Sinneswerkzeuges benachbart gelegen sind. Daran werden wir in erster Linie in jenen pathologischen Fällen gemahnt, bei denen die Kranken wohl noch Empfindungen erleben, bei denen aber ein psychisches Verbinden der Empfindung mit der Entstehungsursache nicht mehr zu verzeichnen oder mit großen Schwierigkeiten verbunden ist. Alle diese Fälle werden mit dem Sammelnamen der Agnosien bezeichnet. Am interessantesten ist hier die sog. „Seelenblindheit“, bei der der betreffende Kranke wohl sieht, das Gesehene aber nicht mehr erkennen kann.

Natürlich muß es vorerst dahingestellt sein, ob der betreffende Kranke nur Empfindungen erlebt, die er zu Wahrnehmungen nicht mehr umzuwerten vermag. Sicher gibt es solche Störungen, doch sind das wohl die leichten Krankheitsfälle, die der Beobachtung zumeist entgehen. Vielfach werden sich aber bei diesen Kranken Erkennungsstörungen bemerkbar machen. In schwereren Fällen wird sogar eine vollständige Einbuße des Wiedererkennens von Gegenständen zu verzeichnen sein, ein Zustand, bei dem es sich dann um eine richtige Agnosie handelt. Bei allen diesen Agnosien hat es sich herausgestellt, daß die der zentralen Sinnesfläche benachbarten Hirnrindenanteile eine krankhafte Veränderung aufweisen (6).

Zwischen Empfindung und Wahrnehmung besteht also ein tiefgreifender Unterschied. Wie wichtig es ist, diesen Unterschied herauszuarbeiten und festzuhalten, geht daraus hervor, daß die Begriffe Empfindung und Wahrnehmung nicht nur in der Sprache des täglichen Lebens, sondern auch in der des wissenschaftlichen Schrifttums häufig durcheinander geworfen werden.

Im gewöhnlichen Sprachgebrauch achtet man zumeist gar nicht auf den Unterschied zwischen einer Empfindung und einer Wahrnehmung. So sagen wir „Wir empfinden Licht“ oder „Wir nehmen Licht wahr“ und meinen damit dasselbe, obgleich in Wirklichkeit diesen beiden Ausdrucksweisen durchaus nicht dasselbe sinnliche Geschehen zugrunde liegt. Das Empfinden von Licht beinhaltet gar nichts über die Art und Örtlichkeit seines Zustandekommens. Die Wahrnehmung von Licht kann uns dagegen über seine Art und über den Ort des Zustandekommens Aufschluß geben. Dieselbe äußere Ursache — Licht — vermag also sowohl zum Auftreten einer Empfindung als auch einer Wahrnehmung Anlaß geben. Eine Wahrnehmung kommt allerdings nur dann auf, wenn wir die Lichtquelle feststellen und gleichzeitig an einer bestimmten Stelle des umgebenden Raumes unterbringen können.

Aber auch im wissenschaftlichen Schrifttum begegnen wir Ausdrucksweisen, die darauf schließen lassen, daß Empfindungen und Wahrnehmungen nicht klar auseinander gehalten werden. Das ist z. B. der Fall, wenn von einer Richtungs-, Entfernungs-, Lage- oder Bewegungsempfindung die Rede ist. Die Richtung, in der sich ein Gegenstand befindet, sowie seine Entfernung, also ganz allgemein seine Lage im umgebenden Raume, können wir nur dadurch feststellen, daß wir einmal von dem Ding Kenntnis nehmen und sodann seine Beziehung im Raume zu uns feststellen. Ebenso können wir eine Bewegung nur dann feststellen, wenn wir ständig die Ortsveränderung eines Gegenstandes verfolgen. In dem Augenblicke, wo wir dies aber alles tun, erleben wir bereits Wahrnehmungen, was aus den vorgebrachten Tatsachen zur Genüge hervorgeht. Man kann also richtigerweise nur von einer Richtungs-, Entfernungs-, Lage- und Bewegungswahrnehmung reden.

Dem wichtigen Unterschiede, der begrifflich zwischen Empfindung und Wahrnehmung besteht, ist in einem weitgehenden Umfange v. HELMHOLTZ gerecht geworden (2, 7). v. HELMHOLTZ hat in seinem „Handbuche der physiologischen Optik“ sehr streng auseinandergehalten die Lehre von den Gesichtsempfindungen und die Lehre von den Gesichtswahrnehmungen. In der ersteren sind die physiologischen Erfolge auseinanderzusetzen, die bei der Reizung des Sehnervenapparates auftreten. In der letzteren ist alles Geschehen behandelt, durch das wir mit Hilfe des bewegten Auges Aufschluß über die Lagerung von Objekten in Bezug auf uns erhalten können.

Bei der Sonderung der beiden Begriffe Empfindung und Wahrnehmung kommt uns — das soll hier der Vollständigkeit halber erwähnt werden — die Sprache gelegentlich zu Hilfe. Dieser Fall ist gegeben, wenn für Empfindungen besondere Eigenschaftswörter gebildet sind, die sich nicht von einem Gegenstandsworte herleiten. Rot, gelb, grün, blau, weiß und schwarz sind Bezeichnungen für Farbeempfindungen auf dem Gebiete des Gesichtssinnes. Auch orange, indigo und purpur sind Bezeichnungen für Farbeempfindungen. Doch werden wir bei den ersteren, rot, gelb usw., in keiner Weise an irgendwelche Dinge der Außenwelt gemahnt, während dies bei den letzteren der Fall ist. Handelt es sich doch da um Bezeichnungen von Gegenständen, die diese Farben aufweisen, nämlich die Orange, das Indigo und die Purpurschnecke. Ebenso liegen die Verhältnisse auf dem Gebiete des Geschmackssinnes. Bitter und süß sind Bezeichnungen rein für Geschmacksempfindungen. Bei den Worten salzig und sauer werden wir schon an Gegenstände (Kochsalz und Säuren) gemahnt, die den betreffenden Geschmack aufweisen. Gleichartig liegen die Dinge auf anderen Sinnesgebieten.

Es unterliegt aber auch keinem Zweifel, daß uns die Sprache bei der Erfassung des schwierigen Unterschiedes zwischen einer Empfindung und einer Wahrnehmung oft im Stiche läßt. Wenn wir von blau oder rot im allgemeinen reden, so bezeichnen wir damit deutlich und klar eine Empfindung. Wenn wir dagegen sagen: „Dies ist rot“, so drücken wir damit sprachlich keine Empfindung mehr aus. Es ist aber sehr fraglich, ob damit rein eine Wahrnehmung gekennzeichnet ist; denn mit diesem Satze fallen wir bereits ein Urteil. In ganz besonderem Maße ist dies der Fall, wenn wir z. B. an der Hand einer Rotempfindung einen Fleck als Blut ansprechen.

Daraus geht nun weiter hervor, daß alle Wahrnehmungen in einem sicher nicht zu unterschätzenden Umfange etwas mit derjenigen psychischen Tätigkeit zu tun haben, die wir als Urteil ansprechen. Es handelt sich dabei um Urteile jener Art, die in der Logik als einfache bezeichnet werden. Wenn ich sage: „Dort ist ein roter Gegenstand“, so gebe ich ein erzählendes Urteil ab; sage ich: „Der rote Gegenstand ist Blut“, so gehe ich noch weiter, indem ich jetzt die Ursache für meine Rotempfindung in einem erklärenden Urteile ausspreche (8).

Nicht ohne Interesse ist die Frage, ob das psychische Verbinden einer Empfindung mit einem Ding oder mit einem Geschehen der Innen- oder Umwelt von Geburt an geschieht oder aber erst gelernt werden muß. Diese Frage ist nicht leicht zu beantworten. Man könnte daran denken, daß das Hinausprojizieren unserer Empfindungen von Geburt an erfolgt. Ob das auch der Fall ist bei der Lokalisation unserer Empfindungen, muß vorerst dahingestellt bleiben. Es unterliegt ja keinem Zweifel, daß wir lernen müssen, uns an unserer Körperoberfläche zurecht zu finden, genau so wie in unserer Umgebung. Wir gelangen ja erst unter dem Einfluß von Bewegungen so weit, daß wir den körperlichen Bestandteil unseres Ichs gegenüber der Umwelt sicher abzugrenzen wissen. Zugunsten der Annahme, daß wir das Lokalisieren der Empfindungen lernen müssen, spricht auch eine weitere Tatsache. Empfindungen von seiten innerer Organe können wir sehr schlecht lokalisieren. Es fehlt uns aber auch jegliche Möglichkeit, uns durch Bewegungen von der Richtigkeit dieser Lokalisation zu überzeugen.

Wenn wir aber von der Annahme ausgehen, daß das Lokalisieren der Empfindungen gelernt werden muß, so gilt dies um so mehr für die Deutung ihrer Entstehungsursache. Das richtige Zusammenbringen unserer Empfindungen mit irgendeinem Geschehen oder Ding in unserer Innen- oder Umwelt, das dem Wahrnehmungsakt zugrunde liegt, erfordert eine große Erfahrung. Wir müssen dasselbe sinnliche Erlebnis wiederholt gehabt haben und instand gesetzt worden sein, uns von der Ursache und Grundlage dieses ganzen Geschehens Kenntnis zu verschaffen¹. Es können also demgemäß richtige Wahrnehmungen von einem Ding oder Geschehen in unserer Umwelt nur dann in uns aufkommen, wenn wir die Verwertung unserer Empfindungen in ausgiebigem Maße gelernt haben. Erst durch gehäufte Übung

¹ Die Wichtigkeit der Trennung der beiden Begriffe Empfindung und Wahrnehmung scheint mir auch aus einer Selbstbeobachtung hervorzugehen. Beim allmählichen Erwachen aus einer tiefen Äthernarkose erlebte ich zuerst Gehörseindrücke in Form von schabenden Geräuschen, die mein Ohr sehr stark trafen, die ich aber in keiner Weise zu deuten vermochte. Wahrscheinlich waren diese akustischen Erscheinungen dadurch hervorgerufen, daß die Pflegerin das Deckbett zurecht machte. Ich kann aber durchaus nicht sagen, daß das auch wirklich der Fall war. Es ist dies vielmehr eine Deutung, die mir später einfiel. Jedenfalls war ich um diese Zeit nicht in der Lage, den Gehörseindruck auf irgendein Geschehen in der Umwelt zu beziehen, während dies einige Zeit später mit Sicherheit gelang. Beim Abklingen der Narkose kommen also zuerst die Sinneswerkzeuge in Tätigkeit, und zwar in der Weise, daß sie uns Eindrücke vermitteln, die aber zu Wahrnehmungen nicht umgewertet werden können. Die Gehirnteile, die für die letzteren Leistungen in Frage kommen, erwachen offenbar erst später zu ihrer vollen Tätigkeit.

erlangen wir diejenige Sicherheit, welche eine Deutung des Empfindungserlebnisses ermöglicht, die den tatsächlich gegebenen Verhältnissen entspricht. Wir können ja jederzeit den Fall erleben, daß Empfindungen psychisch nicht richtig verwertet, also auf Gegenstände oder ein Geschehen zurückgeführt werden, das für sie in Wirklichkeit nicht verantwortlich zu machen ist. Dann aber sind wir einer irrtümlichen Wahrnehmung (9) verfallen.

Auf unseren Wahrnehmungen baut sich unsere Welt auf, und zwar sowohl die innere, die sich in unserer Seelentätigkeit, vor allem den Vorstellungen, äußert, als auch die äußere, die sich in den Gegenständen unserer Umgebung bemerkbar macht. Beide beginnen für uns erst zu bestehen, sowie wir sinnliche Erlebnisse haben und unsere Sinnesempfindungen auf irgendein Ding oder ein Geschehen beziehen. Wir müssen uns freilich darüber völlig im klaren sein, daß wir durch Vermittlung unserer Sinneswerkzeuge nur Bilder von der Innen- und Außenwelt bekommen. Diese setzen sich indessen in unserem Zentralnervensystem so fest, daß wir sie mit den Gegenständen und dem Geschehen selbst identifizieren. Wir haben niemals die Möglichkeit, uns davon zu überzeugen, ob diese Bilder der Wirklichkeit völlig entsprechen oder aber nicht (10). Diese Unfähigkeit nötigt uns, als wahr anzunehmen, was wir mit unseren Sinnen erleben. Dieses „als wahr annehmen“ findet schon sprachlich seinen Ausdruck in dem Worte „wahrnehmen“.

III. Vorstellungen.

Empfindungen und Wahrnehmungen bilden die Grundlage für jenen Bewußtseinsinhalt bzw. für jene Bewußtseinstätigkeit, die wir als Vorstellung bezeichnen. Sich etwas vorstellen kann in einem gewissen Umfange gleichgesetzt werden dem Geschehen, das sich abspielt, wenn wir etwas vor uns stellen. Während aber „etwas vor uns stellen“ eine Handlung bezeichnet, die sich nur in unserer Umwelt abspielen kann, hat das Vorstellen bloß etwas mit einem Geschehen im Bewußtsein zu tun.

Damit werden wir gleich herübergeleitet zu der Frage, welches die zentralnervösen Stätten sind, die als anatomisch-physiologische Unterlagen für das Aufkommen von Vorstellungen verantwortlich gemacht werden können. Bei dem heutigen Stand unserer Erkenntnis ist diese Frage nicht zu beantworten. Doch wird man annehmen können, daß für das Entstehen von Vorstellungen offenbar andere Ganglienzellen in Frage kommen als diejenigen, die wir für das Auftreten von Empfindungen bzw. Wahrnehmungen als maßgebend kennengelernt haben.

Vorstellungen entstehen ausschließlich durch innere Reizvorgänge, also solche, die sich an den Zentralstätten auswirken. Das ist deswegen hervorzuheben, weil Wahrnehmungen vorzugsweise durch Reizwirkungen aufkommen, die an der peripheren Fläche eines Sinneswerkzeuges angreifen. Und von den Empfindungen wurde bereits hervorgehoben, daß sie durch

Reizung sämtlicher Anteile eines Sinneswerkzeuges ausgelöst werden können, am allerleichtesten allerdings durch Reizung des peripheren Sinnesfeldes.

Wenn man hört, daß Empfindungen und Wahrnehmungen die Grundlage für Vorstellungen bilden, könnte man geneigt sein anzunehmen, daß man sich nur etwas vorstellen kann, was man einmal erlebt hat. Nun wissen wir aber aus der Erfahrung, daß wir uns auch Dinge und ein Geschehen zurecht denken, also vorstellen können, die wir in Wirklichkeit niemals zuvor erlebt haben. Ja, wir können uns auch Vorstellungen von künftigen Handlungen oder Erlebnissen machen.

Daraus könnte man den Schluß ziehen, daß es auch Vorstellungen gibt ohne vorangegangene Empfindungen und Wahrnehmungen. Doch liegen die Dinge in Wirklichkeit anders. Denn selbst in den zuletzt erwähnten Fällen, also bei der Vorstellung von Dingen und Geschehnissen, die wir nie erlebt haben, oder bei der Vorstellung von künftigen Erlebnissen, handelt es sich einfach um Bewußtseinsinhalte, die auf vorangegangenen Wahrnehmungen beruhen, und nur durch das Walten der freien Phantasie in verschiedener und wechselnder Weise zusammengefügt werden. „Frei“ soll aber nicht etwa besagen, daß diese Vorstellungen von vorangegangenen Wahrnehmungen unabhängig sind. „Frei“ ist lediglich die Kombination ursprünglich erlebter Wahrnehmungen, z. B. die Vorstellung vom Pegasus oder eines goldenen Berges usw. Demgemäß setzt jede Vorstellung erstens einmal vorangegangene Empfindungen bzw. Wahrnehmungen voraus. Ferner müssen wir in der Lage sein, uns diese Empfindungen einzuprägen und zu merken, so daß wir sie jederzeit in unserem Bewußtseinsinhalt durch die Erinnerung auftauchen lassen können.

Es gibt zweifellos ganz verschiedenartige Vorstellungen, in erster Linie in Abhängigkeit von dem Sinneswerkzeug, das dabei eine besondere Rolle spielt. Wir können also von Gesichts-, Gehörs-, Geruchs-, Geschmacksvorstellungen usw. reden. Es gibt kein Sinneswerkzeug, von dessen Empfindungen und Wahrnehmungen wir in uns nicht durch einen besonderen psychischen Akt Vorstellungen erwecken könnten. Wir können natürlich nur dann von einer Vorstellung reden, wenn bei der betreffenden Bewußtseinstätigkeit alle Empfindungen und Wahrnehmungen des betreffenden Sinneswerkzeuges ausgeschlossen sind. Wollen wir also Gesichtsvorstellungen erleben, so muß die Tätigkeit des Auges vollkommen ausgeschaltet sein. Das gilt in gleicher Weise auch für die anderen Sinneswerkzeuge.

Beachtenswert ist, daß wir uns nicht nur Vorstellungen von sinnlichen Erlebnissen zu machen vermögen, die angenehm, sondern auch von solchen, die unangenehm gefühlsbetont sind. Wir können uns ja in einem gewissen Umfange Vorstellungen von Kitzel, Schauder und Jucken, ja sogar von Schmerzen machen. Freilich setzt dies voraus, daß wir vor nicht zu langer Zeit Erlebnisse dieser Art gehabt haben.

Dazu kommt weiter, daß die Vorstellungen, z. B. von Schmerzen, dann besonders lebhaft sind, wenn diese zuvor längere Zeit angehalten haben.

Allen Vorstellungen ist gemeinsam, daß sie bei vollem Bewußtsein gegenüber der Empfindung bzw. Wahrnehmung, die ihnen zugrunde liegt, im allgemeinen von außerordentlicher Flüchtigkeit und Undeutlichkeit sind. Davon kann man sich in sehr einfachen Versuchen überzeugen. Man braucht es bloß bei geschlossenen Augen zu unternehmen, sich ein Rot oder ein Blau vorzustellen. Man wird sich gestehen müssen, daß die Vorstellung der Farben weit hinter den wirklichen Farben zurückbleibt. Etwas leichter wird die Aufgabe, wenn man bereits irgendwelche Farben vor sich sieht und sich nun vorzustellen hat, wie diese oder jene Farben abgestuft sein müßten, um eine bestimmte Wirkung zu entfalten.

Ist es schon recht schwierig, sich eine einfache Farbe vorzustellen, so stößt es auf noch erheblich größere Schwierigkeiten, sich irgendwelche Gegenstände innerlich vor Augen zu führen, auch wenn uns diese durch den täglichen Gebrauch wohl bekannt sind. So stößt schon die Vorstellung eines einfachen Tisches zweifellos auf gewisse Hindernisse. Jedenfalls werden wir innerlich den Tisch niemals sofort in seiner Gänze, also mit seinen sämtlichen Eigentümlichkeiten, vor uns sehen. Wir werden uns vielmehr bei genauer Selbstbeobachtung dabei ertappen, daß wir, um zu der optischen Vorstellung eines Tisches zu gelangen, uns dabei langsam einen seiner Bestandteile nach dem anderen (Beine und Platte) zurecht denken, bis wir innerlich den gesamten Tisch vor uns haben. Nachdem uns die bloße Form des Tisches innerlich zum Bewußtsein gekommen ist, werden wir uns erst seine anderen Eigenschaften vorstellen können, also z. B. die Beschaffenheit seines Materials oder seine Färbung.

Es verdient Hervorhebung, daß alle Arten von Vorstellungen sehr viel flüchtiger und unausgeprägter sind, als die entsprechenden sinnlichen Erlebnisse. Das ist deswegen so sehr überraschend, weil alle Traumvorstellungen den sinnlichen Erlebnissen in ihrer Eindringlichkeit und Ausgeprägtheit nur wenig oder überhaupt nicht nachstehen. Man denke daran, daß wir z. B. Farben oder Töne im Traume genau so erleben können wie im Wachzustande. Offenbar liegen die Dinge so, daß im Schlafe psychische Hemmungen wegfallen, welche sich während des Wachzustandes zu Ungunsten der Ausbildung von Vorstellungen auswirken.

Die Fähigkeit, Vorstellungen zu erleben, schwankt individuell sicher sehr stark. Vor allem ist hierzu eine gewisse Gedankenbeweglichkeit notwendig, die dem einen in größerem, dem anderen in geringerem Maße zu eigen ist. Freilich spielen auf diesem Gebiete Übung, vor allem aber Begabung eine sehr große Rolle. Welche Bedeutung für das Erleben von Vorstellungen die Übung hat, geht aus den nachfolgenden Beispielen hervor. So erleichtert die ständige Beschäftigung mit sinnesphysiologischen Versuchen

bestimmter Richtung zweifellos wesentlich das Aufkommen von einschlägigen Vorstellungen. Wenn jemand sehr viel mit riechenden oder schmeckenden Stoffen zu tun hat, so wird er nach Ablauf einer gewissen Zeit leicht Geruchs- und Geschmacksvorstellungen erleben. Dies wird um so einfacher gelingen, je länger die Übung anhält und je tiefgreifender sie war.

Daß für dieses Geschehen natürlich die besondere Art der Ausbildung des Sinneswerkzeuges wichtig ist, läßt sich unschwer verstehen. Ein normaler Sehender wird sich von demselben Ding leichter eine Gesicht- als Tastvorstellung bilden, obgleich er natürlich ebenso häufig Gelegenheit hat, das betreffende Ding mit Hilfe des Auges als mit Hilfe des Tastsinnes zu prüfen. Im allgemeinen erfolgt aber die Prüfung eines Gegenstandes mit Hilfe des Auges sehr viel leichter und schneller als mit Hilfe des Tastsinnes. Dies lehrt ein einfacher Versuch. Man stelle sich z. B. optisch einen Tisch vor und im Anschluß daran denselben Tisch haptisch. Man wird sehr rasch dahinterkommen, daß Gesichtsvorstellungen von dem Tisch sehr viel leichter aufkommen als Tastvorstellungen. Bei der Aufforderung, sich einen Tisch haptisch vorzustellen, wird man sich sogar fürs erste sehr unbeholfen vorkommen. Man wird gar nicht wissen, wie man sich anzustellen hat, um eine Tastvorstellung von einem Tisch zu erleben. Diese Unsicherheit hängt damit zusammen, daß natürlich ein normaler Sehender den „Tisch“ vorzugsweise mit dem Auge und nicht mit dem Drucksinn aufnimmt. Bei einem Blinden liegen die Dinge gerade umgekehrt. Dieser ist ja gewohnt, alle Gegenstände seiner Umwelt auf haptischem Wege zur Kenntnis zu nehmen und nicht auf optischem.

Sicher ist, daß für das Zustandekommen von Vorstellungen auch die besondere Begabung eines Individuums von Wichtigkeit ist. Es werden von dem Betreffenden dann Vorstellungen auf einem besonders beschaffenen Sinnesgebiete leichter und mit größerer Eindringlichkeit erlebt als bei einem anderen. So werden z. B. bei einem Maler sehr viel leichter Farb- oder Formvorstellungen, bei einem Musiker sehr viel sicherer Tonvorstellungen aufkommen als bei Leuten, die auf diesen Gebieten ungeübt sind. Je stärker das Talent, um so größer ist auch die Vorstellungskraft.

Auf Grund der vorliegenden Ausführungen sind wir nunmehr in der Lage, die drei Begriffe Empfindung, Wahrnehmung und Vorstellung in einer bestimmten Weise zu umreißen.

Empfindungen sind Bewußtseinsinhalte, die durch Vermittlung von Sinneswerkzeugen, und zwar durch eine Betätigung von deren zentralen Sinnesflächen entstehen. Sie lassen sich psychisch in Bestandteile nicht zerlegen und sind daher als einfachste sinnliche Erlebnisse anzusehen. Die Ursache für das Aufkommen von Empfindungen ist in Reizen zu erblicken, die sowohl aus der Innen- als auch aus der Außenwelt eines Indi-

viduums stammen können. Die Reize sind nun wohl die Ursache für die Empfindungen, haben aber mit dem Charakter der Empfindungen nichts zu tun. Auch werden wir durch die Empfindungen allein noch nicht an die Reizursachen gemahnt. Ob und inwieweit die Empfindungen als richtige Abbilder derjenigen Reize zu werten sind, die auf das Sinneswerkzeug einwirken, wird wohl niemals beantwortet werden können und ist daher eine müßige Frage.

Wahrnehmungen sind Bewußtseinsinhalte, die in uns aufkommen, sowie wir anfangen, unsere Empfindungen zu werten. Dies geschieht bereits in einfachster Weise, sobald wir der Reizursache für unsere Empfindungen nachgehen, uns also damit beschäftigen aufzudecken, welcher Natur der Gegenstand oder das Geschehen ist, das zu dem Auftreten der Empfindungen Anlaß gibt. Die Wahrnehmungen, die durch ein Sinneswerkzeug vermittelt werden, bauen sich auf dessen Empfindungen auf. Ohne Empfindung gibt es also auch, wenigstens im Bereiche eines und desselben Sinneswerkzeuges, keine Wahrnehmung.

Vorstellungen stellen ein psychisches Geschehen dar, das im wesentlichen in der Hervorrufung bereits erlebter Empfindungen oder Wahrnehmungen ohne besondere Beteiligung eines Sinneswerkzeuges besteht. Es handelt sich in ihnen um innere Bilder der Außen- und Innenwelt, die zumeist, aber durchaus nicht ausnahmslos, auf zuvor erlebten Empfindungen und Wahrnehmungen beruhen.

Empfindungen und Wahrnehmungen kommen im allgemeinen durch Reize aus der Innen- oder Außenwelt eines Individuums zustande. Diese Reize greifen vorzugsweise an der peripheren Fläche eines Sinneswerkzeuges an. Die Reize zum Zustandekommen einer Vorstellung greifen dagegen ausnahmslos an zentralnervösen Stätten an. Ihr Zustandekommen ist nur indirekt auf Leistungen der Sinneswerkzeuge zurückzuführen.

Zuletzt sei hervorgehoben, daß die Empfindungen die sinnliche Grundlage für unsere gesamte Gedankentätigkeit bilden. Da sie eine Grundlage bilden, sind sie unanfechtbar. Wir müssen sie einfach hinnehmen, ohne eine Entscheidung fällen zu können, ob sie richtig oder falsch sind. Wahrnehmungen brauchen dagegen, da eine gewisse Urteilstätigkeit hier eine Rolle spielt, nicht allein richtig zu sein, sondern sie können sich auch als falsch erweisen. Das gilt selbstverständlicherweise in noch viel höherem Grade für unsere Vorstellungen.

Literatur.

1. J. MÜLLER: Handbuch der Physiologie des Menschen, für Vorlesungen, Bd. 2, S. 249f. Coblentz 1840. — 2. H. v. HELMHOLTZ: Die Tatsachen in der Wahrnehmung. Vorträge und Reden, Bd. 2, S. 217. Braunschweig 1884. — 3. H. v. HELMHOLTZ: Über die Lokalisation der Empfindungen innerer Organe. Vorträge und Reden, Bd. 2, S. 252. Braunschweig 1884. — 4. J. v. KRIES: Allgemeine Sinnesphysiologie. Leipzig 1923 (vgl. besonders S. 14f.). — 5. E. v. SKRAMLIK: Über die Lokalisation der Empfindungen bei den niederen Sinnen. Ber. Physiol. 22, 500 (1924); Z.

Sinnesphysiol. 56, 69 (1924). — 6. K. BRODMANN: In der „Allgemeinen Chirurgie der Gehirnkrankheiten“, herausgeg. von F. KRAUSE, Bd. 11, Teil 1, S. 256f. Stuttgart 1914. — 7. H. v. HELMHOLTZ: Handbuch der physiologischen Optik, Bd. 3, 3. Aufl., S. 3f. Hamburg-

Leipzig 1910. — 8. CHR. SIGWART: Logik, Bd. 1, 3. Aufl., S. 66 bzw. 117f. Tübingen 1904. — 9. E. v. SKRAMLIK: Über irtümliche Wahrnehmungen. Erg. Physiol. 24, 648 (1925). — 10. E. v. SKRAMLIK: Objektiv und Subjektiv. D. Tatwelt 11, 154 (1935).

4. Unterricht und Methode.

Bedeutung des naturwissenschaftlichen Unterrichts für Wirtschaftshochschulen¹. Von F. F. MARTENS in Berlin.

Natur- und Geisteswissenschaften.

1. Jede wissenschaftliche Tätigkeit wird vom menschlichen Geist ausgeübt. Sie besteht darin, Tatsachen festzustellen und zu ordnen. Sie erfüllt das Streben des Forschenden nach Erkenntnis und dient mit vielen ihrer Ergebnisse dem praktischen Leben.

2. Von alters her unterscheidet man Natur- und Geisteswissenschaften. Ein einfaches Beispiel mag dies erläutern.

Musik und Sprache sind Träger von folgenden tatsächlichen Eigenschaften. Sie entstehen im Munde oder in Geräten, pflanzen sich als Schallwellen durch die Luft fort und können ins menschliche Ohr eindringen. Mit der Erkenntnis und Beherrschung dieser „natürlichen Vorgänge“ beschäftigen sich Naturwissenschaften, insbesondere Physik und Physiologie.

Im Bewußtsein des Musizierenden oder Sprechenden sowie im Bewußtsein des Hörers finden Vorgänge statt, die sich naturwissenschaftlich (wenn überhaupt, so doch jedenfalls) nicht erschöpfend beschreiben lassen. Mit der Untersuchung dieser „geistigen Vorgänge“ beschäftigen sich Geisteswissenschaften, und zwar Musik- und Sprachwissenschaft.

3. Wie Musik und Sprache, so ist auch die menschliche Wirtschaft Träger von natürlichen und geistigen Eigenschaften zugleich. Zu ihrer wissenschaftlichen Erforschung und Förderung sind also Natur- und Geisteswissenschaften berufen.

Es kann nicht Aufgabe einer kurzen Abhandlung sein, alle Wissenschaften zu kennzeichnen, die für die Wirtschaft von Bedeutung sind. Es sollen daher im folgenden nur Naturwissenschaften und unter diesen nur Physik und Chemie und die auf physikalischer und chemischer Grundlage beruhenden technischen Wissenschaften eingehender betrachtet werden.

Wirtschaft und Technik.

4. Selbständige Landwirte und Handwerker vereinigen in ihrer Person technisches Können mit gewissen betriebswirtschaftlichen, volkswirtschaftlichen und rechtlichen Kenntnissen.

In einem Fabrikbetrieb liegen Leitung und Ausführung der verschiedenen Aufgaben verschiedenen Personen ob. Zahlreiche, mehr oder weniger handwerklich geschulte Arbeitskräfte führen die Formgebungs- oder Umwandlungsarbeiten aus. Angegeben und entworfen

werden die Formen der herzustellenden Gegenstände oder die Stoffumwandlungen von naturwissenschaftlich-technisch geschulten Angestellten (Ingenieuren, Physikern oder Chemikern). Einkauf der Rohstoffe, Verkauf der hergestellten Waren sowie Registrierung und Kontrolle aller Wertentwicklungen liegen kaufmännischen Angestellten ob. Ein reibungsloses Zusammenarbeiten der technischen und der kaufmännischen Angestellten ist für das Wohl des Ganzen von entscheidendem Wert und nur dann gewährleistet, wenn die einen Verständnis für die Tätigkeit der anderen besitzen.

Auch der im Warenhandel tätige Kaufmann gebraucht gewisse technische Kenntnisse über Gewinnung der Rohstoffe sowie Herstellung und Verwendung der Fertigwaren.

Bei Bankbetrieben spielen technische Fragen eine wichtige Rolle, wenn es sich z. B. darum handelt, Fabrikbetrieben Kredit zu gewähren.

5. Die im praktischen Leben stehenden Kaufleute passen sich allmählich den Anforderungen an, die an sie herantreten. So erwirbt der Fabrikkaufmann eine eingehende Kenntnis auch von den technischen Vorgängen seines Betriebes, während der Warenkaufmann eine allmählich wachsende Warenkenntnis sich aneignet. Diese Kenntnisse sind meistens engbegrenzt und ohne wissenschaftlichen Unterbau.

6. Heute muß derjenige, der im Wirtschaftsleben mit Erfolg eine ordnende, verwaltende oder leitende Tätigkeit ausüben will, ein weit größeres Maß von technischen Kenntnissen besitzen als früher. In schnellem Tempo vervollkommen sich die ursprünglich primitiven Produktionsmittel und Verfahren, besonders in der eisengewinnenden und eisenverarbeitenden Industrie. Immer neue, größere und kompliziertere Werkzeugmaschinen werden in Deutschland gebaut und zum Teil ins Ausland geliefert. Dabei steigt die Anforderung an die Genauigkeit immer mehr, damit die laufenden Teile (z. B. eines Autos), wenn sie abgenutzt sind, ohne weiteres durch neue Teile ersetzt werden können.

Besonders schwierig ist die Rohstoffversorgung. Das Deutsche Reich hat nicht genügenden Anteil an den Rohstoffgebieten der Erdschale und findet für die Erzeugung seiner fleißigen Bevölkerung nicht so viel Absatz, daß die nötigen Rohstoffe in ausreichendem Maße eingekauft werden könnten. Gebieterisch drängt sich also die Frage des Rohstoffersatzes auf. Kupfer wird teilweise durch Aluminium ersetzt, Pflanzengummi durch künstlichen Gummi, Erdöl durch Benzin, das aus Steinkohlen gewonnen ist.

Die ursprünglich primitiven Produktionsmittel, z. B. der Metallindustrie, werden stets vollkommener.

¹ Nach einem am 18. Juni 1936 vor dem Lehrkörper der Wirtschaftshochschule Berlin im Harnackhause gehaltenen Vortrage.

Der Verkehr steht im Zeichen der Geschwindigkeitszunahme. Neuartige Verkehrsmaschinen (Eisenbahntriebwagen, Autos, Flugzeuge und Luftschiffe) werden in Dienst gestellt, und ein großartiges Netz neuer Automobilstraßen ist im Bau.

Die Wirtschaftshochschulen.

7. Die wirtschaftswissenschaftlichen Hochschulen (Berlin, Leipzig, Königsberg, Nürnberg) und die wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Fakultäten (Köln, Frankfurt, Heidelberg) haben im wesentlichen die Aufgabe, zukünftigen Diplom-Kaufleuten, Diplom-Handelslehrern, Doktoren der Wirtschaftswissenschaften (Dr. oec.) das wissenschaftliche Rüstzeug für ihre spätere ordnende Tätigkeit im Wirtschaftsleben oder für die Lehrtätigkeit an Handelsschulen zu geben. Die frühere Handelshochschule München ist in die Münchener Technische Hochschule eingebaut worden. In der Allgemeinen Fakultät der Technischen Hochschule Berlin wird eine Gruppe von Diplomingenieuren technisch-wirtschaftlich ausgebildet.

An den deutschen Universitäten sind Einrichtungen getroffen, um Wirtschaftswissenschaftler zum Diplomvolkswirt, zum Dr. phil. oder zum Dr. rer. pol. auszubilden. Von diesen Einrichtungen kann hier abgesehen werden.

Zwischen der Wirtschaftshochschule Berlin und dem Berufspädagogischen Institut Berlin besteht eine Arbeitsgemeinschaft. Die Angehörigen des Institutes (zukünftige Gewerbelehrer) sind Studenten der Hochschule und machen von vielen ihrer Einrichtungen Gebrauch. Insbesondere nehmen sie an den physikalisch-technischen Übungen teil.

8. In den Prüfungsordnungen für Diplom-Kaufleute sind vier Fächer als Pflichtfächer vorgeschrieben: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Besondere Betriebswirtschaftslehre, Volkswirtschaftslehre, Rechtslehre.

Die Prüfung in besonderer Betriebswirtschaftslehre kann wahlweise in Fabrikbetrieb, Warenhandel, Bankbetrieb, Treuhandwesen oder Verkehrswesen abgelegt werden.

Als fünftes Fach ist ein Wahlfach vorgesehen. Die Wahl kann sich erstrecken: auf Versicherungslehre, Genossenschaftslehre, Wirtschaftsgeschichte, Statistik, Staatsrecht, auf Mechanische Technologie, Chemische Technologie, Geographie, auf eine Fremdsprache (Englisch, Französisch, Spanisch, Russisch oder Polnisch).

Leider ist nicht einmal für die Prüfung in Fabrikbetrieb Mechanische oder Chemische Technologie vorgeschrieben. Vielmehr dürfen alle Prüflinge, der Richtung des geringsten Widerstandes folgend, unter den zahlreichen genannten Fächern dasjenige wählen, das sich ihnen durch kleinsten Umfang empfiehlt.

9. In den Prüfungsordnungen für Diplom-Handelslehrer sind zwei Pflichtfächer vorgeschrieben, nämlich: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Pädagogik. Außerdem sind drei Wahlfächer vorgesehen.

Die wirtschaftswissenschaftliche Gruppe wählt: Besondere Betriebswirtschaftslehre, Volkswirtschaftslehre, Rechtslehre.

Die sprachliche Gruppe wählt: Volkswirtschaftslehre, eine Fremdsprache und: entweder eine zweite Fremdsprache oder Deutsch oder Geographie oder Wirtschaftsgeschichte.

Die technologisch-geographische Gruppe wählt: Physikalische Technologie, Chemische Technologie, Geographie.

10. In den mündlichen Doktorprüfungen ist außer drei fachwissenschaftlichen Fächern ein allgemeines Fach vorgeschrieben. Unter die zugelassenen allgemeinen Fächer sollten Angewandte Physik und Angewandte Chemie eingereiht werden.

11. Ein erheblicher Teil der freien wissenschaftlichen Arbeiten und Dissertationen enthält umfangreiche naturwissenschaftlich-technische Darlegungen. Sonst wären die den eigentlichen Kern der Arbeit bildenden wirtschaftlichen Erwägungen nicht verständlich. Prüflinge, die solche Arbeiten einreichen, sollten gehalten sein, Physik oder Chemie als ein Fach der mündlichen Prüfung zu wählen.

12. Die meisten Studenten bringen erhebliche Kenntnisse in Physik und Chemie von der Schule her mit. Auch braucht sich die Prüfung nicht auf alle der unter Ziffer 13 genannten Teilgebiete zu erstrecken. Durch diese Umstände wird die Gefahr einer Halbbildung oder Überlastung verringert.

13. An der Wirtschaftshochschule Berlin werden folgende naturwissenschaftlich-technische Vorlesungen und Vorträge gehalten:

1. Physik-techn. Vorlesungen und Übungen 2. Chemische Vorlesungen und Übungen	Wöchentliche Stundenzahl	Semesterzahl
1. a) Experimentalphysik.	2	2
b) Physik-techn. Praktikum	3	1—3
c) Mechanische Technologie	2	1
d) Antriebsmaschinen . . .	2	1
e) Radiotechnik	2	1
f) Optische Industrie (Photographie)	2	1
g) Besichtigungen	—	—
h) Eisenbahntechnik . . .	2	2
2. a) Experimentalchemie	2	2
b) Chemisches Praktikum .	3	1—3
c) Warenkunde	1	2
d) Besichtigungen	—	—

14. In den grundlegenden, experimentellen Vorlesungen (1a und 2a) werden zahlreiche Schauversuche angestellt. In den ergänzenden Übungen (1b und 2b) wiederholt der Lernende selbst grundlegende Versuche und erhält so in die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Erkenntnis einen Einblick, wie er ohne eigene Versuche nicht erworben werden kann.

In diesen Vorträgen und Übungen werden die wirtschaftlich wichtigen Anwendungen mehr betont, als es im Schulunterricht möglich und an Bildungsstätten für zukünftige Physiker und Chemiker üblich ist.

Die Vorlesung über Antriebsmaschinen behandelt Dampf- und Wasserkraftwerke sowie Verkehrstechnik (Lokomotiven und Autos). Die Elektromotoren werden im zweiten Teil der Experimentalphysik, in der Elektrizitätslehre, behandelt.

Die Besichtigung von Betrieben ist wesentlich fruchtbarer, wenn vorher durch Vorlesungen das Verständnis für die technischen Vorgänge in den besichtigten Betrieben geweckt worden ist.

Steigerung der Wehrfähigkeit durch naturwissenschaftlich-technischen Unterricht.

15. Durch die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Erkenntnis und des technischen Könnens ist das Wirtschaftsleben umgestaltet, die Vaterlandsverteidigung aber geradezu neugestaltet worden.

Gebrauch und Bedienung der neuzeitlichen komplizierten Wehrmittel können zwar nur während des Wehrdienstes erlernt werden, setzen aber ein gewisses Maß von mathematischen, physikalischen, chemischen und technischen Kenntnissen voraus. Je gründlicher diese Vorkenntnisse sind, um so schneller kann der Gebrauch der Wehrmittel erlernt werden.

An Wirtschaftshochschulen sollte also der naturwissenschaftlich-technische Unterricht nicht nur mit Rücksicht auf den zukünftigen Beruf, sondern auch als Vorbereitung für den Wehrdienst gepflegt werden.

Besonders geeignet sind die Studenten der Wirtschaftswissenschaft für das Nachrichtenwesen. Hier kommt ihnen die Fertigkeit in Maschinenschriften, die Fähigkeit schnellen Nachschreibens, ferner die Beherrschung von Fremdsprachen zu-statten.

Erzieherischer Einfluß naturwissenschaftlicher Schulung.

16. Im vorstehenden ist dargelegt, wie naturwissenschaftlich-technischer Unterricht Berufs- und Wehrtüchtigkeit zu stärken vermag. Damit ist aber die Bedeutung dieses Unterrichts keineswegs erschöpft, wie folgende Beispiele zeigen.

Von entscheidendem Einfluß ist naturwissenschaftlicher Unterricht für die Naturauffassung.

In physikalischen und chemischen Übungen findet eine experimentelle Nachprüfung von schon bekannten naturwissenschaftlichen Ergebnissen durch den Üben selbst statt. Hier wird Ergebnis zum Erlebnis. Die Ergebnisse, die der Lernende selbst nachprüfen kann, bedürfen der Ergänzung durch solche Ergebnisse, die der gesicherten Erfahrung anderer entnommen oder aus bewährten Naturgesetzen abgeleitet werden.

Wenn heute eine Naturauffassung auf Vollständigkeit und Geschlossenheit Anspruch machen will, dann müssen gewisse naturwissenschaftliche Ergebnisse in sie eingebaut worden sein. Z. B. die Kenntnis vom einzelnen Atom und seiner Stellung im Periodischen System der 92 Grundstoffe, von der Wesensgleichheit der Röntgenstrahlen, des Lichtes und der Elektrischen Wellen, vom Umlauf der Planeten um die Sonne.

17. Naturwissenschaftliche Schulung beeinflusst Einzelpersönlichkeit und Volksgemeinschaft. Sie gewöhnt den einzelnen an richtige Beobachtung, an Erfassung des Wesentlichen, an Einfachheit und Zuverlässigkeit der Beschreibung. Sie lehrt auch, Behauptungen von Beweisen zu unterscheiden und das bloße Denken nicht zu überschätzen.

Der naturwissenschaftlich Geschulte wird es ablehnen, solchen Behauptungen Glauben zu schenken, die der Erfahrung widersprechen, wird sich aber immer dessen bewußt sein, daß seine eigene, örtlich und zeitlich beschränkte Erfahrung nur Stückwerk ist.

Die natürlichen Tatsachen sind im Vergleich mit geistigen einfacher und genauer feststellbar. Die naturwissenschaftlichen Ergebnisse unterliegen daher weniger als die geisteswissenschaftlichen dem Streit der Meinungen und wirken auf die Gemeinschaft einigend, nicht zersetzend. Sie bilden einen sicheren und unerschöpflichen Schatz von Erkenntniswerten.

18. Je weniger eine Überzeugung erfahrungsmäßig gesichert ist, je mehr sie nur gefühlsmäßig erfaßt wird, um so größer ist in der Regel die Leidenschaftlichkeit, mit der sie vertreten wird. Zu solchen, erfahrungsmäßig nicht hinreichend gesicherten naturwissenschaftlichen Überzeugungen gehören unter anderem: die Erscheinung von Geistern, der Zusammenhang der Wünschelrute mit unterirdischem Wasser und anderen Bodenschätzen, der Einfluß von Krankheiten auf die Iris des menschlichen Auges, die allgemeine Zuträglichkeit rein vegetarischer Lebensweise.

Ganz anders steht es mit sittlichen Überzeugungen, die erfahrungsmäßig gesichert und gefühlsmäßig erfaßt sind, z. B. dem Glauben an die Kraft des Opfers für Volk und Vaterland.

19. Die grundsätzliche und tatbereite Einstellung zur Gesamtheit der sittlichen Forderungen sollte als „sittliche Bereitschaft“ bezeichnet werden.

Man kann sittliche Forderungen auf mannigfache Art begründen (z. B. aus der Erfahrung von Geschlechtern, aus den Lehren der Geschichte oder aus dem Wesen vorbildlicher Persönlichkeiten). Bedenklich sind solche Begründungen, die naturwissenschaftlicher Erkenntnis widersprechen oder auf einer unhaltbaren Naturauffassung beruhen.

Sittliche Bereitschaft kann nicht durch bloßes Wissen erworben werden, sondern bedarf dauernder Gewöhnung an die Erfüllung von sittlichen Forderungen. Berufsausbildung und Wehrdienst gewöhnen an die Erfüllung einzelner sittlicher Forderungen (an Pflichttreue, Pünktlichkeit, Einordnung und Unterordnung). Das Leben in Familie und Sippe, in Schule und Kameradschaft gewöhnt an die Erfüllung von anderen sittlichen Forderungen. Naturwissenschaftliche Schulung gewöhnt an Wahrhaftigkeit, Sachlichkeit und Ehrfurcht vor den großen Forschern eines Volkes, vermag also, (zwar nicht entscheidenden, aber doch) fördernden Einfluß auf die sittliche Bereitschaft auszuüben.

20. Man kann „Berufs- und Wehrtüchtigkeit“, „Naturauffassung“ und „sittliche Bereitschaft“ mit drei Quellflüssen, das menschliche Leben mit einem Strom vergleichen, der durch Vereinigung dieser drei Quellflüsse entsteht. Oder auch mit drei Wurzeln, aus denen eine sittliche Persön-

lichkeit erwächst, die sich bewußt und bereitwillig in die Volksgemeinschaft einfügt.

Wer naturwissenschaftlichen Unterricht einzuschränken sucht, handelt wie ein Gärtner, der nur den Baum sieht und Früchte will, den Wurzeln des Baumes aber Raum und Nahrung entzieht.

5. Technik und mechanische Praxis.

Untersuchungen an Flugzeugen im Windkanal. Von W. LANDSBERG in Berlin.

Aus den hohen Ansprüchen, die heute an unsere Luftfahrzeuge in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht gestellt werden, und vor allem auch aus den Forderungen nach weitestgehender Verkehrssicherheit ergibt sich das Verlangen nach einer immer vollkommeneren Kenntnis des Kräftefeldes, wie es im Fluge unter den verschiedenartigsten Betriebsbedingungen auftritt. Diese ungemein schwierigen Zusammenhänge sind auf theoretischem Wege allein nicht restlos zu erfassen und auszuwerten, so sehr auch die wissenschaftliche Aerodynamik hierfür den Weg geebnet hat. Der praktische Versuch an Modellen ist zur Ergänzung und Bestätigung der theoretischen Ableitungen unentbehrlich. Das wurde schon in den Anfängen der Luftfahrt erkannt, und die Arbeiten LILIENTHALS und der Brüder WRIGHT, des Grafen ZEPPELIN und v. PARSEVALS u. v. a. zeigen, daß sich sowohl die ersten Flugzeugkonstrukteure wie auch die Vorkämpfer des Luftschiffbaues teils kleiner, teils auch naturgroßer Modelle als Hilfsmittel für die Entwicklung der späteren Ausführungsformen bedienten, darüber hinaus aber auch an ausgeführten Luftfahrzeugen Versuche und Messungen während des Fliegens durchführten.

Soweit solche Modelle für den Flug im Freien bestimmt sind, ist ihre Anwendbarkeit immerhin begrenzt. Die beim jeweiligen Versuch gerade vorliegenden meteorologischen Bedingungen können sehr stark von den tatsächlich möglichen, ungünstigeren Verhältnissen abweichen, und außerdem sind sie beim freien Fluge der vorwiegend unbemannten Modelle mit Meßeinrichtungen nur unvollkommen festzuhalten und einer nachträglichen rechnerischen Auswertung zugänglich zu machen. Es bestand daher schon frühzeitig der Wunsch nach ortsfesten Versuchsanlagen in Gestalt von Windkanälen, die es erlauben, Strömungserscheinungen künstlich nachzubilden und die Naturvorgänge in ihrem Ausmaß dabei sogar zu überbieten, wenn dies für die Erprobung der Widerstandsfähigkeit von Werkstoffen, für die Klärung aerodynamischer Fragen, oder aus anderen Gründen zweckmäßig erscheint. Da in solchen Fällen die Relativbewegung zwischen Luftströmung und Flugzeug durch Bewegen der Luft gegen eine feststehendes Modell, also in Umkehrung der wirklichen Verhältnisse, hervorgebracht werden kann, lassen sich an dem nunmehr ruhenden Versuchsgegenstand die nötigen Messungen nicht nur mit großer Genauigkeit, sondern auch in gewünschter Vielseitigkeit durchführen.

Der erste Windkanal ist in Deutschland von der Motorluftschiff-Studiengesellschaft zu Göttingen

nach Entwürfen PRANDTLs im Jahre 1907 erbaut worden (1), also schon zu einer Zeit, in der vielen der Anblick eines lenkbaren Luftfahrzeuges noch unbekannt war. Kurz darauf folgte Frankreich mit einer stärkeren, von EIFFEL entwickelten Anlage und in der Folgezeit schlossen sich England, Rußland, Italien und vor allem auch die Vereinigten Staaten dem Beispiel an und schufen Windkanäle, die an Leistungsfähigkeit nicht nur den ersten, sondern auch den 1916 errichteten größeren Windkanal in Göttingen weit hinter sich ließen.

Seit 1935 besitzt Deutschland in der neuen Anlage der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt in Adlershof bei Berlin ein Versuchsfeld, das den neuzeitlichen Anforderungen gewachsen ist (2). Es folgt in seinen Grundzügen dem Aufbau des PRANDTLschen Entwurfes vor nunmehr fast 30 Jahren. Der Versuchsgegenstand wird innerhalb der sog. Meßstrecke einem freien, in seiner Stärke und Geschwindigkeit regelbaren Luftstrom ausgesetzt, der aus einer düsenartigen Öffnung ausgeblasen und am anderen Ende der Meßstrecke von einem Trichter wieder aufgefangen wird. Düse und Auffangtrichter stellen die offenen Enden des eigentlichen Windkanals dar, der an vier Stellen rechtwinklig abgebogen ist, wodurch seine Hauptachse etwa die Form eines Rechtecks erhält und ein dauernder Umlauf der Luft durch den Kanal über die offene Meßstrecke hinweg bewirkt wird. Die Luftbewegung wird von einem Gebläse erzeugt, das hinter dem Auffangtrichter im Zuge des Kanals eingebaut ist. Leitschaukeln in den vier Umlenkstellen des Kanals sollen die Strömungsverluste vermindern und die Geschwindigkeitsverteilung möglichst gleichmäßig gestalten, indem sie den Luftstrom in mehrere Bänder zerschneiden, die einzeln umgelenkt werden, um sich dann wieder zwanglos zu vereinigen. Ähnlichen Zwecken dient ein vor der Düse eingebauter, siebartiger Gleichrichter. Im ersten Göttinger Kanal wurde mit einem Gebläsemotor von 34 PS eine Windgeschwindigkeit von 10 m/sec erreicht. Die neue Anlage in Adlershof hat einen Motor von 2700 PS; mit Hilfe einer achtflügeligen Verstell-Luftschaube von 8,5 m Durchmesser können dem Luftstrahl Geschwindigkeiten bis zu 65 m/sec erteilt werden, wenn der elliptischen Hauptdüse mit den Achsen 6 m und 8 m eine kleinere gleichfalls elliptische Vorsatzdüse 5 m mal 7 m angefügt wird. Die Strahlänge und somit die Meßstrecke verkürzt sich dabei von 11 m auf 9 m. Nur diese Meßstrecke mit der Düsenöffnung auf der einen und dem Auffangtrichter auf der gegenüberliegenden Seite liegt innerhalb des Meßgebäudes, während der Windkanal selbst mit dem

Gebläse außen um das Gebäude herumgeführt ist. Im Zuge des freien Luftstromes wird der Untersuchungsgegenstand mittels einer Drahtaufhängung derart befestigt, daß die Aufhängedrähte die an den Meßstellen auftretenden Beanspruchungen unmittelbar auf eine sog. „Sechskomponentenwaage“ übertragen, die oberhalb der Meßstrecke im Dach des Gebäudes untergebracht ist. Die Waage zerlegt über ein Getriebe die an den Aufhängepunkten wirkenden Kräfte in Auftrieb, Widerstand und Querkraft und mißt diese sowie die drei Momente um die Raumachsen selbsttätig. Die Meßergebnisse werden unmittelbar in gedruckter Form festgehalten.

Die Aufgaben neuzeitlicher Windkanäle sind ungemein mannigfaltig. Es können nicht nur Einzelteile, sondern auch verschiedenste Teilsysteme in ihren wechselseitigen Einflüssen sowohl in kleineren Modellen wie in natürlicher Größe untersucht werden (3). Sogar die Prüfung vollständiger Flugzeuge ist möglich und wird beispielsweise in der großen amerikanischen Anlage des National Advisory Committee for Aeronautics (N.A.C.A.) in Langley Field, Virginia, schon seit 1931 durchgeführt (4). In diesem Falle werden die Flugzeuge nicht im Luftstrom aufgehängt, sondern mit Fahrgestell und Sporn auf eine stromlinienförmig verkleidete Stützkonstruktion aufgesetzt, deren Gestänge im Innern der Verkleidung die Luftkräfte auf eine unter der Meßstrecke liegende Waage übertragen. In dieser gewaltigen Anlage hat der freie Luftstrahl eine Länge von fast 22 m. Zu seiner Erzeugung dienen zwei Motoren von je 4000 PS, deren Umlaufzahlen in 24 Stufen regelbar sind und Windgeschwindigkeiten zwischen 11 und 53 m/sec ergeben. Andere Windkanäle arbeiten zum Teil mit weit höheren Geschwindigkeiten, so z. B. das 1923 erbaute Prüffeld von Issy les Moulineaux mit 80 m/sec und das Moskauer Aero-Hydrodynamische Institut mit mehr als 100 m/sec (1). Der neueste Windkanal des N.A.C.A. in Langley Field ist sogar für eine Geschwindigkeit von 222 m/sec eingerichtet, wozu eine Motorleistung von 8000 PS aufgebracht wird (5).

Soweit Versuche an ganzen Flugzeugmodellen in maßstäblicher Verkleinerung vorgenommen werden, lassen sich auch die Strömungsverhältnisse bei laufender Luftschraube in der Weise nachbilden, daß man die Modelle mit einem kleinen elektrischen Drehstrommotor ausrüstet, dem der Strom durch die gut leitfähig gemachten Drahtaufhängungen zugeführt wird. Man ist dabei, diese Modellmotoren bis zu Leistungen von 100 PS zu entwickeln (3). Um nicht nur die Gesamtwirkungen der Luft auf das Flugzeug, sondern auch die örtlichen Strömungsvorgänge an diesem selbst zu erforschen, z. B. die Anströmgeschwindigkeit, die Geschwindigkeitsverteilung über der Oberfläche und hinter dem Prüfgegenstand, die Druckverteilung u. v. a., sind Druckmeßverfahren ausgebildet worden, bei denen die zu untersuchenden Körper kleine Anbohrungen erhalten; von diesen führen Röhrchen und Schläuche zu Manometern, an denen die gewünschten Werte abzu-

lesen sind. Windkanäle können ferner zur Untersuchung von Motoren dienen, um deren Verhalten unter den verschiedensten Druck- und Temperaturverhältnissen zu ermitteln. So besitzen die Isotta-Fraschini-Werke einen Unterdruckwindkanal zum Prüfen von Höhenmotoren. Weitere Einrichtungen sind für die Erforschung der Schwingungsvorgänge am Flugzeug, andere wieder zum Messen der Schub- und Drehmomente umlaufender Luftschrauben bestimmt; auch werden Motoren zusammen mit Luftschrauben geprüft.

Eine besondere Aufgabe kommt den Windkanälen zu, bei denen zur Durchführung von Trudelvorsuchen ein Luftstrom in der Richtung von unten nach oben geleitet wird (6). Ein Flugzeug bewegt sich beim Trudeln bekanntlich um eine senkrechte Achse, wobei sein Schwerpunkt eine mehr oder weniger steil nach abwärts gerichtete Schraubenlinie beschreibt. Dieser Vorgang wird in dem Trudel-Windkanal des Royal Aircraft Establishment in Farnborough in der Weise nachgebildet, daß ein kleines Flugzeugmodell in der Kanalmitte auf einen festen Zapfen leicht drehbar aufgesetzt wird, wobei seine Anfangslage im Luftraum der des flachen Trudels entspricht. Die Neigung und die Einstellung der Steuerflächen ist so gewählt, daß beim Anblasen des Modells von unten durch die „Autorotation“ die typische Trudelbewegung um die senkrechte Achse einsetzt und bei Verstärken des Luftstromes das Modell sich vom Zapfen abhebt, so daß es nun völlig frei im Raume trudeln kann. Durch entsprechende Regelung der Windgeschwindigkeit im Kanal ist zu erreichen, daß sich das Modell während des Trudels etwa in gleicher Höhe des Windkanals hält, so daß seine Sinkgeschwindigkeit aus der Geschwindigkeit des aufwärts gerichteten Luftstromes zu errechnen ist. Mittels eines vorher eingestellten Uhrwerks kann nach Ablauf einer bestimmten Trudelzeit die Steuerung des Modells selbsttätig verstellt und dabei beobachtet werden, ob und wie schnell das Flugzeug dadurch aus dem Trudeln herauskommt. Eine in den Kanal eingebaute Filmkammer ermöglicht ein genaues Festhalten aller Vorgänge im Laufbild, das als wichtige Grundlage für die spätere rechnerische Auswertung der Versuche dient. Da die Modelle im Trudel-Windkanal freie Bewegungen ausführen können, bedarf es besonderer konstruktiver Maßnahmen, um die Kanalwände wie auch die kleinen Modelle selbst vor Beschädigungen möglichst zu schützen. Die Modelle müssen ferner den Flugzeugen nicht nur geometrisch, sondern auch dynamisch in Bezug auf Gewichtsverteilung, Schwerpunktslage usw. weitgehend angenähert werden.

Für die erwähnten Anlagen, bei denen die Versuchsgegenstände im Luftstrom in einer bestimmten Stellung unveränderlich festgehalten werden, fallen solche Erfordernisse zwar fort. Dafür ergibt sich die nicht weniger schwierige Aufgabe, Einflüsse der Aufhänge- bzw. Stützvorrichtungen auf die Meßergebnisse so gut wie möglich auszuschalten oder in der Berechnung richtig einzusetzen. Es ist ferner darauf Bedacht zu nehmen, daß über den

ganzen Querschnitt der Meßstrecke eine recht gleichmäßige Luftströmung erzeugt wird, was vor allem bei den elliptisch geformten Düsenöffnungen und Auffangtrichtern nicht ganz leicht zu verwirklichen ist. Auch hierbei erweist sich der Versuch als zweckmäßige Ergänzung der theoretischen Ermittlungen. So wurde beispielsweise vor der Errichtung der erwähnten Großanlage in Langley Field sogar ein vollständiges Windkanalmodell im Maßstab 1 : 15 geschaffen, um an ihm

die besten Voraussetzungen für die endgültige Kanalausführung zu erproben.

Schrifttumsverzeichnis.

1. PRANDTL, L.: Herstellung einwandfreier Luftströme. Handbuch der Experimentalphysik, herausgegeben von WIEN und HAIMS, Leipzig 1932, Bd. 4. Teilband 2. — 2. KRAMER, M.: Z. VDI 79, Nr 51. 1529. — 3. KOHLER, M.: Z. VDI 79, Nr 40, 1179. — 4. DIRKSEN, B.: Z. VDI 78, Nr 11, 347. — 5. MACHINERY: New York 41, Nr 7, 408. — 6. FRANCIS, R. H.: Z. VDI 79, Nr 3, 65.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Die Beobachtung veränderlicher Sterne. Zur Einführung für beobachtende Freunde der Astronomie. Von Dr. ROLF MÜLLER in Potsdam. Mit 4 Abbildungen. Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1935. 20 Seiten. Preis RM 2,40.

Das Heft, ein Sonderabdruck aus der Zeitschrift „Die Sterne“, gibt brauchbare Anleitung zur Beobachtung nach ARGELANDERS Schätzungsmethode und zur Bearbeitung der Beobachtungen. Zur Ermittlung der Zenitdistanz für Extinktion ist ein sehr geeignetes Nomogramm angefügt. An nicht im Heft gebotenen Hilfsmitteln werden erwähnt: Refraktionstabelle, Sonnenlängen, Verzeichnis von Veränderlichen im Astrokalender. Nichtleser der Zeitschrift „Die Sterne“, für die der Sonderabdruck doch wohl berechnet ist, hätten für den hohen Preis der 20 Seiten wohl einen Abdruck dieser Tabellen gewünscht, zumal die beiden zuerst genannten auf der 20. Seite noch Platz gehabt hätten. Ein Hilfsmittel zum Auffinden von mit bloßem Auge nicht sichtbaren Veränderlichen (etwa Atlas von BEYER-GRAFF) ist nicht angegeben. J.

Ballistik. Die mechanischen und thermischen Grundlagen der Lehre vom Schuß. Von HANS LORENZ. Dritte Auflage. VI, 132 Seiten mit 62 Abbildungen im Text. München und Berlin: R. Oldenbourg 1935. Preis geh. RM 4,—.

Die ersten Auflagen, aus Vorträgen für Offiziere und Ingenieure entstanden, sind während des Krieges erschienen. Die jetzt vorliegende dritte Auflage ist um einige Zusätze über die Berechnung der Beiwerte für die Luftwiderstandsförmel, die graphische Näherungskonstruktion der Flugbahn nach BRAUER und eine kurze Darstellung des Schallmeßverfahrens vermehrt. Das Büchlein behandelt die innere Ballistik (Verbrennung des Pulvers, Pulverdruck), die Schußwirkung auf die Schießgeräte (Rücklaufvorrichtungen, Rohrfestigkeit) und die äußere Ballistik (Geschoßbahn, Geschoßwirkung am Ziel, Schallmeßverfahren). Sehr angenehm und lehrreich sind die verhältnismäßig zahlreichen Abbildungen und die zahlenmäßig durchgerechneten Beispiele. E. Lamla.

Das Kristallzeichnen auf Grundlage der stereographischen Projektion. Von H. TERTSCH. 38 Seiten. Mit 34 Abbildungen. Wien: Julius Springer 1935. Preis RM 3,60.

Die zeichnerische Wiedergabe der Tracht der Kristalle, d. h. der äußeren, durch Flächenausbildung und Größe bedingten Form der Kristalle

gehört zu den häufigeren, bei der Kristallbeschreibung auftretenden Aufgaben. Das Kristallbild soll nicht nur mathematisch genau, sondern auch anschaulich sein. Die Zeichnung muß daher die typische Formgesetzmäßigkeit der Kristalle, den Zonenverband, möglichst augenfällig erkennen lassen. Der Zonenverband aber kommt durch den Parallelismus der Kristallkanten am deutlichsten zum Ausdruck; daher wird eine Darstellungsform gewählt, bei der die am Kristall auftretenden Parallelen auch in der Zeichnung als Parallelen erscheinen, nämlich die Parallelperspektive.

Das kleine Heft gibt praktische Anweisungen für die Lösung der häufiger vorkommenden Aufgaben. Zuerst wird das Kristallbild in der Ebene der als bekannt vorausgesetzten stereographischen Projektion dargestellt; dann folgt die Beschreibung für die Herstellung von parallelperspektivischen Kristallbildern. Auf zeichnerische Veranschaulichung des Trachtbildes aus den Zentraldistanzen der den Kristall umgebenden Flächen und der Formausbildung dieser Flächen selbst wird in dem vorliegenden Schriftchen besonderer Wert gelegt. Es werden Anweisungen gegeben für die zweckmäßigste Wahl der Projektionsebene bei Kristallen verschiedener Kristallsysteme und für die Herstellung von Kristallnetzen für Modelle eines bestimmten Trachttypus. Zuerst wird das Berührungspolyeder im Aufriß gezeichnet, bei dem alle Zentraldistanzen gleich dem Radius der Projektionskugel sind, dann folgt der Aufriß aus gemessenen Zentraldistanzen der Kristallflächen. Kopfbild und Aufriß des Kristalles oder Kristallzwillinges liefern dann ein anschauliches kantenrichtiges Kristallbild.

Der Schlußabschnitt behandelt die Umkehrung der vorstehend beschriebenen Aufgabe, nämlich die Rekonstruktion der Verhältnisse der Zentraldistanzen aus einem kantenrichtig gezeichneten Kristallbild.

Für den mineralogischen Unterricht der höheren Schulen kommen derartige Aufgaben aus Zeitmangel nicht in Frage, dagegen dürften sich einzelne Aufgaben, z. B. die Aufrißbilder für den Zinnstein, für den Unterricht im geometrischen Zeichnen eignen. Dm.

Kolloidchemisches Praktikum. Von Dr. E. SAUER, a. o. Professor an der Technischen Hochschule Stuttgart. IX und 112 Seiten. Berlin: Julius Springer 1935. Preis RM 4,50.

Das vorliegende Praktikum behandelt in einzelnen Abschnitten die Darstellung von Kolloiden, ihre mechanischen Eigenschaften, die optischen Erscheinungen, ihre elektrischen Eigenschaften, Grenzflächenwirkungen, Gele und Gallerten, die Dispersoidanalyse und die chemischen Reaktionen bei Kolloiden.

Die Darstellung der Arbeitsmethoden ist klar und unbedingt zuverlässig. Auch dem weniger Geübten gelingen die beschriebenen Versuche

gut. Die ausgewählten Kapitel bringen eine vorzügliche Übersicht über die Kolloide und ihre Haupteigenschaften. Wer sich in das Gebiet der Kolloide einarbeiten will, dem ist diese Praktikumsanleitung ein ausgezeichnete Führer. Für den Chemielehrer ist das Buch ein trefflicher Berater bei Versuchen über den kolloiden Zustand der Materie und bietet eine Fülle Anregungen zu interessanten Themen für Arbeitsgemeinschaften.
H. Petzold.

Aus Werkstätten.

Tragbare Elektronenstrahl-Oszillographen der Leybold und v. Ardenne G. m. b. H.

Der Gedanke des Straßburger Physikers F. BRAUN (vor etwa 40 Jahren), eine Kathodenstrahlröhre als Meßinstrument zu gebrauchen, hat sich im Laufe der letzten Jahre immer mehr als außerordentlich fruchtbar erwiesen. Die ersten wichtigen Verbesserungen stammten von A. WEHNELT, der die kalte Kathode durch eine Oxydkathode ersetzte und einen negativ geladenen Zylinder um die Kathode benutzte, um die Strahlen zu konzentrieren. In den letzten Jahren sind aber weitere große Fortschritte erzielt worden. Während ursprünglich die Gasfüllung der Röhre mit einem Druck von etwa $5 \cdot 10^{-4}$ mm Hg

Mängel zur Folge hat, andererseits aber auch in bestimmten Fällen sehr nützlich ist. Ferner

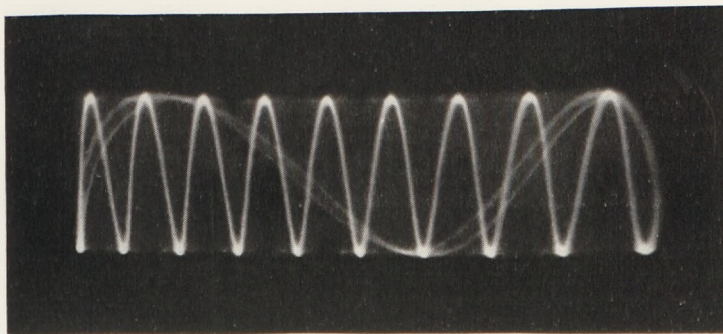


Fig. 1. Oszillogramm einer Schwingung von 3000000 Hertz.

werden Oszillographenröhren hergestellt, die schon mit etwa 200 V Anodenspannung einen hellen Fleck ergeben; meist wird aber höhere Anoden-

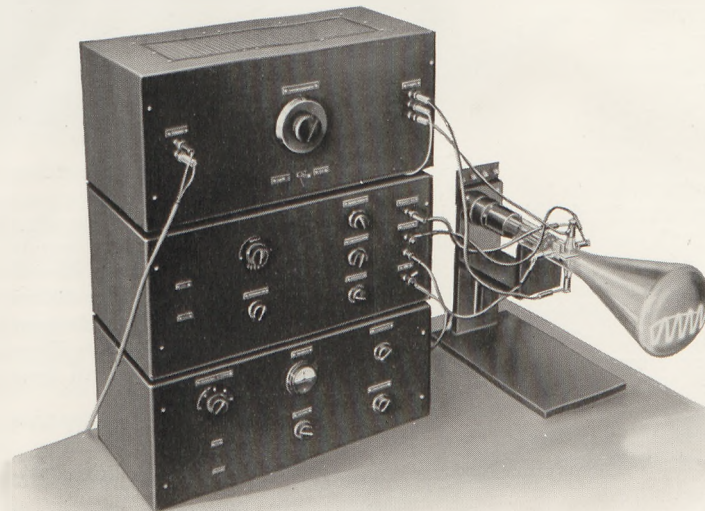


Fig. 2. Oszillographengerät, aus Einzelteilen zusammengebaut.

wesentlich für die Konzentration des Strahles war, werden heute Röhren mit verschiedenen Graden der Gasfüllung bis zu extremem Hochvakuum hergestellt, da die Gasfüllung gewisse

spannung verwendet, und zwar bei tragbaren Geräten bis etwa 4000 V. Da mit der Anodenspannung die Geschwindigkeit der Elektronen wächst, nimmt damit auch die Helligkeit des

Leuchtflecks beträchtlich zu. Zum Betrieb größerer Fernschröden dieser Art wird sogar die Anodenspannung 7500 V verwendet.

Den Elektronenstrahl einer solchen Röhre kann man sowohl magnetisch wie elektrostatisch beeinflussen und die Röhre daher zu Strom- und

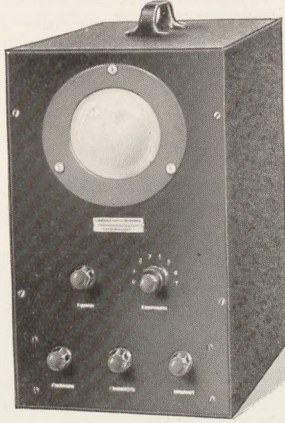


Fig. 3. Kleiner tragbarer Oszillograph.

Spannungsmessungen benutzen. Ihr Hauptvorteil ist die praktisch vollkommene Trägheitslosigkeit, so daß man in der Röhre einen Oszillographen besitzt, der auch sehr hohe Frequenzen getreu wiedergibt. Für Frequenzen oberhalb etwa 100 000 Hertz sind Hochvakuumröhren erforderlich; mit diesen kann man noch elektrische Schwingungen von weniger als 1 m Wellenlänge registrieren.

Um die Röhre zur Beobachtung oder Aufzeichnung eines Schwingungsverlaufs zu gebrauchen, kann man entweder im rotierenden Spiegel beobachten bzw. auf einen laufenden Film photographieren, oder man kann die zu beobachtende Schwingung unmittelbar auf dem Schirm der Röhre zeitlich zerlegen. Dies geschieht, indem man senkrecht zu dem eigentlichen Schwingungsvorgang eine „Zeitablenkung“ anbringt, die mit besonderen Geräten (Kippgeräten) hergestellt wird. Die Kippschwingung eines solchen Gerätes verläuft sägezahnartig, d. h. der Fleck läuft mit gleichförmiger Geschwindigkeit von links nach rechts über den Schirm, springt dann in einem kleinen Bruchteil der Kipperiode zurück und

beginnt seine Bewegung von links nach rechts von neuem. Da es möglich ist, diese Zeitablenkung zu periodischen Vorgängen, die man beobachten will, genau synchron zu machen, erhält man auf dem Schirm der Röhre unmittelbar ein Bild des Schwingungsvorganges. So zeigt Fig. 1 eine auf dem Schirm einer Röhre der Leybold & v. Ardenne G.m.b.H.¹ photographierte Schwingung von 3000 000 Hertz.

Die dazu notwendige Apparatur besteht außer der Röhre aus dem Netzanschlußgerät, das die Anodenspannung und die übrigen zum Betriebe der Röhre notwendigen Ströme und Spannungen liefert, ferner aus dem Kippgerät und einem Verstärker (Fig. 2). Ein solcher Aufbau ist aber in mehrfacher Hinsicht unbequem; unter anderem ist es notwendig, zur Vermeidung von Streufeldern die Röhre metallisch abzuschirmen und sie daher in einen Metallkasten einzubauen. Man ist daher gleich einen Schritt weitergegangen und hat die Röhre zusammen mit den übrigen Geräten gebrauchsfertig eingebaut, so daß die Zusammenschaltung wegfällt und die Bedienung wesentlich vereinfacht wird. Einen solchen einfacheren tragbaren Oszillographen zeigt Fig. 3, während in Fig. 4 ein größeres Gerät dieser Art wiedergegeben ist.

Derartige Oszillographen finden in der Technik eine beständig wachsende Anwendung, da es nicht schwer ist, beliebige mechanische, akustische oder elektrische Vorgänge als Spannungsschwankungen

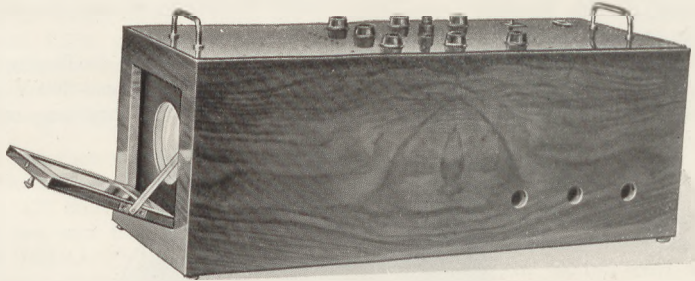


Fig. 4. Großer tragbarer Oszillograph, mit Gehäuse.

der Röhre zuzuführen. Für die Schule sind die großen und teuren Geräte dieser Art nicht gedacht, immerhin finden aber die modernen Oszillographenröhren auch unter den Physiklehrern immer mehr Freunde. Die Leybold & v. Ardenne G.m.b.H.² gibt über die Möglichkeiten der Verwendung solcher Röhren im Unterricht gern genauere Auskunft.

¹ Eine Tochtergesellschaft der Fa. E. Leybolds Nachf. A.-G.

² Berlin NW 7, Schiffbauerdamm 19.

An Stelle des Herrn Ministerialrat Professor Dr. METZNER wird künftig Herr Professor MATTHÉE die Herausbergeschäfte führen.